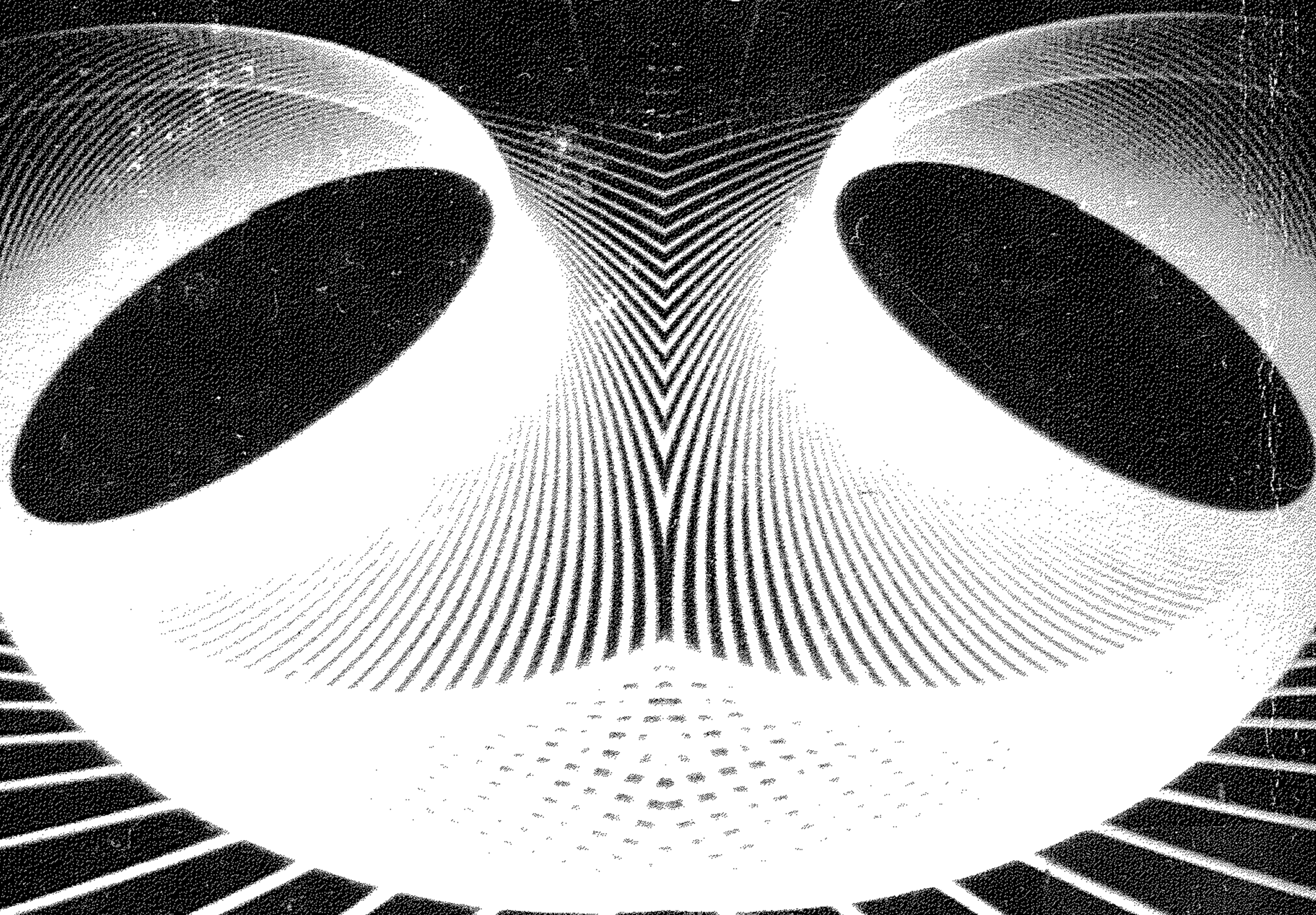


الكتاب  
الكتاب  
الكتاب  
٢٥٩

# أسطورة المادة

صورة المادة في الفيزياء الحديثة



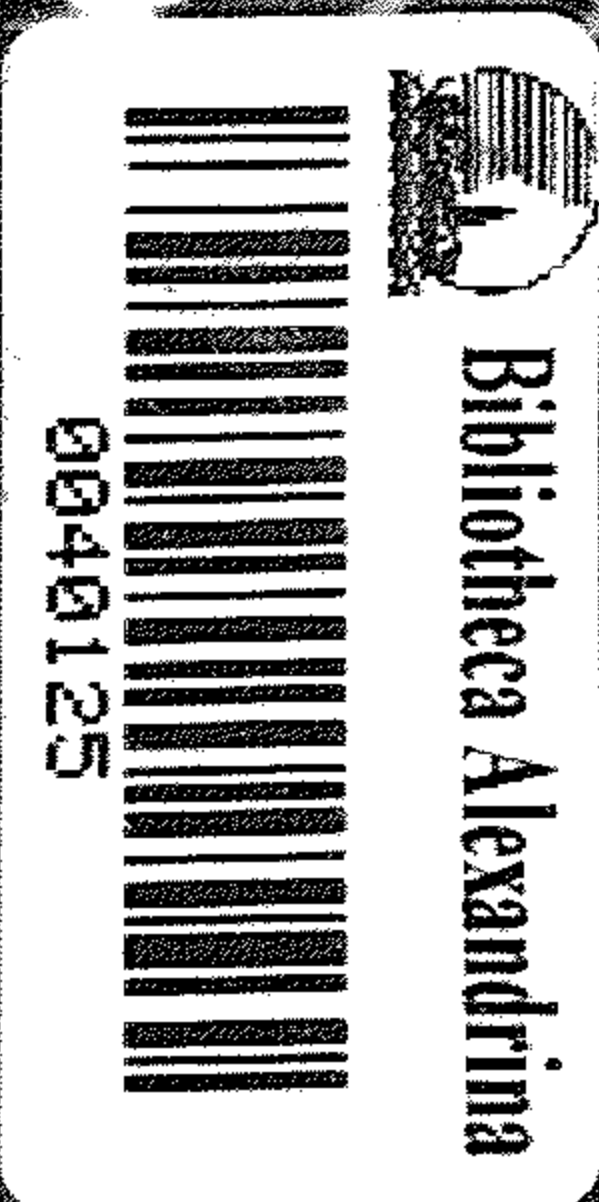
بول ديفيد

تأليف :

وجون جريبين

ترجمة : م. علي يوسف علي

الهيئة المصرية العامة للكتاب







# الألف كتاب الثاني

## نافذة على الثقافة العالمية

الإشراف العام

الدكتور / سمير سرخان

رئيس مجلس الإدارة

رئيس التحرير

أحمد صليحة

مدير التحرير

هزن عبد العزيز

سكرتير التحرير

علياء أبو شادي

المقر الفني العام

محسنة عطية



# أُسْطُورَةُ المَادَّةِ

## صورة المادة في الفيزياء الحديثة

تأليف  
بول ديفيز  
جون جريبين

ترجمة  
م . علي يوسف علي



١٩٩٨

هذه هي الترجمة العربية الكاملة لكتاب :

***THE MATTERS MYTH***

by

***Paul Davies***

***John Gribbin***

# فهرس

الصفحة	الموضوع
٧	مقدمة الطبعة العربية . . . . .
١١	مقدمة . . . . .
	الفصل الأول
١٥	موت المادة . . . . .
	الفصل الثاني
٢٢	الهيولية وتحرر المادة . . . . .
	الفصل الثالث
٥٩	الحاضر العجيب . . . . .
	الفصل الرابع
٩٩	الكون على رحابته . . . . .
	الفصل الخامس
١٢٣	الثانية الأولى . . . . .
	الفصل السادس
١٥٠	. . . . . والاخيرة
	الفصل السابع
١٦٧	اعاجيب الكم . . . . .
	الفصل الثامن
١٩٣	الشبكة الكونية . . . . .
	الفصل التاسع
٢١٣	ما وراء المستقبل اللامتناهي . . . . .
	الفصل العاشر
٢٣٠	الكون الحي . . . . .
٢٥١	كشاف . . . . .



## مقدمة الطبعة العربية

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله . .

يهدف كتابنا الذي نقدمه للقارئ الكريم الى توضيح ما آل اليه العلم في ثوبه الحديث ، وكما يراه علماء القرن العشرين ، في مقابل ما تعارف عليه الناس طويلا فيما يتعلق بمفهوم العلم ومنهجه ، كما أدهص له كوبرنيكس ، وأسس جاليليو ، وصاغه نيوتن ، وسار على دربهم أفذاذ من العلماء ، في شتى الفروع ، تعارفوا جميعا على الاستهداء بالمنطق البديهي كما يتصوره العقل البشرى ، كأداة لاستكشاف الحقيقة .

وللبشر عادة معروفة على مر الدهور ، هم تعميم ما يالفونه تحت شعار المنطق البديهي ، ورفض الأفكار المخالفة بدعوى « ما سمعنا بهذا في الملة الآخرة ، ان هذا الاختلاق » . يتساوى في هذا الاتهام أن تكون الفكرة رأيا اصلاحيا تجديديا ، أو احدى الغيبيات التي وردت في كتاب الله الكريم ، أو نظرية علمية ثبت فيما بعد احترامها كالنظرية الكمية أو النظرية النسبية .

لقد تقدم ماكس بلانك بنظريته الكمية للجمعية العلمية ببرلين في السابع عشر من ديسمبر عام ١٩٠٠ ، وقوبلت بالاستهجان والاعراض ، فانطوت في غياهب النسيان الخمس سنوات تالية ، ولم يشفع لها أنها أنجزت ما عجز عنه العلم بمنطقه البديهي آنذاك في موضوع الاشعاع الحرارى . ولولا جسارة موظف مغمور في مكتب توثيق البراءات ببرن ، لظلت ضحية هذا الانكار لزمن يعلمه الله ! . لقد تبنى آينشتين هذه الفكرة المغضوب عليها ، ليجعلها أساسا لتفسيره للظاهرة الكهروضوئية . وفقط



فى عام ١٩١٩ ، منح ماكس بلانك جائزة نوبل اعترافا بفضله فى وضع نظرية أصبحت أحد أساسين راسخين للعلم فى القرن العشرين .

هذا عن الاعتراف بالنظرية الكمية ، فماذا عن الأساس الثانى ، النظرية النسبية ؟ الاجابة ، لم تحظ بذلك الاعتراف من قبل مانحى الجائزة المذكورة . فما يدعو للتأمل ، أن آينشتين حين منح جائزة نوبل عام ١٩٢١ ، كان بسبب تطبيقه للنظرية الكمية ، وليس عن وضعه للنظرية النسبية بشقيها الخاصة والعامة ، رغم ما تحقق لهما من نجاح هز العالم آنذاك ، وهو انكار يحسب على مانحى الجائزة على مر التاريخ ، وليس على آينشتين وأعماله الخالدة بكل تأكيد .

بهذا القول أهدف الى التخفيف عن القارئ الكريم وقع ما سيعرضه الكتاب من أفكار غريبة عن منطقنا المألوف . والى هذا هدف المؤلفان أيضا فى الفصل الرابع ، والذي وضع لكى يساعد القارئ على تقبل أفكار النظرية النسبية الغريبة . وهنا يقول المؤلفان نفس ما يقوله رجال الدين لمنكرى الغيبيات ، ألا يتعجل المرء رفض فكرة لمجرد عدم تقبل عقله لها ، وهى نصيحة لا أحسب من تعود التواضع أمام علم الله وقدرته بحاجة اليها . فاذا كان الكتاب فى ذلك الملحق يستحث القارئ على أن يستخدم مخيلته كما يفعل فى قراءة القصص الخيالية ليتقبل هذه الأفكار ، كخط رجعة ضد انكار أفكار النسبية فيما جاءت به ، فان خط الرجعة عندى هو « لو كان البحر مداد لكلمات ربي لنفد البحر قبل أن تنفد كلمات ربي ، ولو جئنا بمثله مددا » صدق الله العظيم .

ان تصديقى لما جاء فى كتاب الله من تغير الزمن بين نظام ونظام : بين « كن فيكون » و « خالدين فيها أبدا » ، و « ان يوما عند ربك كآلف سنة مما تعدون » ، و « فى يوم كان مقداره خمسين ألف سنة » ، ولاسراء الرسول الكريم ومعراجه فى ليلة واحدة ، لن يجعل عصيا على أن أتقبل ما جاءت به النسبية من أن يوما فى اطار مرجعى معين قد يساوى عدة قرون فى اطار مرجعى آخر .

وينطبق نفس القول على ما جاءت به النظرية الكمية من أفكار تشبيه في خطها بعضاً من غيبيات الكتاب الكريم . من ذلك مثلاً : « تعدد الأكوان ، أو وجود كائنات « شبيهة » لا تدركها حواسنا أو « أنا آتيك به قبل أن يرتد إليك طرفك » ، في مقابل ما جاء من امكانية التنقل عبر الفضاء الكوني في لمح البصر ( راجع الفصل «عجائب الكم» ) .

ولست أقول بذلك ان القرآن قد تنبأ بالنظرية النسبية أو الكمية ، كما يحلو لبعض السذج أن يفعل في مواطن كثيرة ، فستان بين علم الله وعلم البشر ، وغيبيات الله سبحانه موكل اليه تأويلها . ولكن ما أقوله هو أن التواضع في نظرة الانسان لامكانات عقله في تمييز الخطأ من الصواب مطلوب ، بل ومفترض أساسى ، لتقبل الأفكار ، سواء أكانت اجتماعية أم دينية أم علمية .

والربط بين الفهم العلمى وبين أفكار معنوية ليست بدعا من لدنى ، فالى هذا يهدف الكتاب الذى بين أيدينا صراحة ، ويهدف كتاب على شاكلة « Beyond Science » للبروفيسور John Polkinghorne بصراحة أكثر . ولعل هذا المقتطف منه يوضح الفكرة : « ان الفيزياء قد علمتنا أن أنجح النظريات هى التى يعبر عنها بأجمل المعادلات » . أرايت كيف أن الجمال قد أصبح معياراً لتمحيص صحة النظريات العلمية ؟ هل كان متصوراً فى العلم بمفهومه الكلاسيكى أن يكون لمثل هذه المعنويات دور فى البحث العلمى المجرد ؟ . . ولكنه العلم فى ثوبه الجديد .

وإذا كان اللجوء لمعنى الجمال فى تمحيص النظريات العلمية أمراً مستغرباً ، فما بالك أن يكون أساساً لوضع نظرية من النظريات أصلاً ، وأية نظرية ، النسبية العامة التى قد لا يغالى فى القول بأن وضعها كان من أعظم الانجازات العلمية على مر التاريخ الانسانى ؟ وفى هذا المعنى يقول الكتاب المذكور : « لقد تعلمنا درساً بليغاً من بحث بول ديراك الدءوب عن المعادلات الجميلة ، ومن قبله ألبرت آينشتين فى نظريته النسبية العامة » . ولو أتيح للقارئ الكريم الاطلاع على قصة حياة آينشتين كما كتبها مساعده ريتشارد هوفمان ( تحت الطبع فى الهيئة

المصرية العامة للكتاب ) ، لوجد كيف ركز المؤلف على أن وضع هذه النظرية كان مبنيا ، وليس على أى شيء آخر ، على احساس أينشتين بوحداية الله وجمال خلقه ، مما دعانى الى أن اصف هذه النظرية فى مقدمتى للكتاب المذكور بأنها « صورة فريدة من صور التسبيح بوحداية الله » .

لقد نزع العلم عن نفسه ثوبا أقرب لـ « قميص الأكرام » ، ليستبدل به ثوبا فضفاضا يتسع لمعان مستقاة من روافد أخرى للمعرفة الانسانية، معان تتسع للخير والجمال ، وسبحان القائل : « سنريهم آياتنا فى الآفاق وفى انفسهم حتى يتبين لهم أنه الحق » .. صدق الله العظيم .

## مقدمة

ان اصفاء صفة الثورية على العلم أصبح من التعبيرات الدارجة ، ومع ذلك ، فحتى أولئك الذين ليست لهم الا علاقة سطحية بالعلوم يحسون بأن هناك شيئا ثوريا حقيقيا يحدث في مضماره . ولسنا نشير بذلك الى ما يظهر من اختراعات بين الحين والآخر ، ولا الى ما نشهده من تقدم فى مجالات التقنية مهما كان مذهلا ، رغم كون هذه وتلك تحمل صفة الثورية بكل معانيها . ذلك أن تحولا أعمق يجرى فى أساس العلم ذاته ، فى النظرة التى يرى بها العلماء العالم .

وقد ذهب الفيلسوف « توماس كون Thomas Kohn » الى أن العلماء يبنون تصوراتهم عن الحقيقة بناء على « نمط قياسى Paradigm » فكرى . مثل هذا النمط ليس نظرية فى حد ذاته ، ولكنه اطار للفكر ، أو ان شئت القول ، منهج لاستنباط المفاهيم ، يتشكل حوله تفسير مشاهدات وبيانات التجارب العلمية . هذا النمط القياسى يعتريه التغير بين الحين والآخر ، وحين يحدث ذلك ، لا تتغير النظريات فحسب ، ولكنها المفاهيم العلمية تتغير كذلك ، ومن ثم تتبدل نظرة العلماء للعالم ، وهو ما نشهده الآن .

وما يشيع حاليا من قول بأننا وسط تحول فى نمط التفكير العلمى لا يمثل سوى جزء من الحقيقة . فقد أدرك الكثيرون أن مفاهيم غريبة متحدية لادراكنا البشرى طفت على السطح فى السنوات الأخيرة ، فما الثقوب السوداء ، والثقوب الديدانية ، وخطوط الكم الشبحية ، والهيولية chaos ، والحواسيب الذكية ، كسر لقليل من كثير ، سوى قمة لجبل

الجليد ، ذلك أنه كلما اقتربنا من نهاية القرن العشرين ، زاد تحرر العلم من أغلال فكرية كبلته لقرون ثلاثة ، يطلق عليها « الميكانيكية » ، تعنى وببساطة شديدة تصوير الكون كآلة هائلة ، منضبطة فى كل أجزائها ، تدور بلا انقطاع أو هدف . ويمكن أن نعود بأسس هذا النمط الفكرى لقدماء الاغريق ، الا أن جذوره الحديثة ترجع لاسحق نيوتن الذى صاغ قوانين الميكانيكا الشهيرة ، والتي بمقتضاها فتح الباب أمام الادعاء بأن كافة النظم الفيزيائية يمكن النظر اليها كجزء من النظام الميكانيكى . وهذا الزعم هو ما دخلنا به القرن العشرين .

الا أن الحركة تجاه « ما بعد المادية » كنمط فكري مناسب للقرن التالى يتم على نطاق واسع : فى علم الكونيات ، وكيمياء الأنظمة ذاتية التنظيم ، والنظم الهيولية ، وميكانيكا الكم ، وفيزياء الجسيمات ، ونظم المعلومات ، و ( على شئ من التردد ) المنطقة المشتركة بين البيولوجيا والفيزياء . فى كل تلك الفروع من العلم وجد العلماء أنه من المجدى ، بل ومن الضرورى ، أن ينظر للجزء من الكون الذى قيد أبحاثهم نظرة جديدة تماما ، لا تحمل سوى النزر اليسير من التصور الميكانيكى للكون ذى الصفة المادية الصرف .

ولقد وصف الفيزيائى «جوزيف فورد» Joseph Ford المنطق الميكانيكى المادى بأنه أحد « الأساطير القاعدية » للعلم الكلاسيكى . والأسطورة بالطبع ليست تمثيلا حرفيا للحقيقة . فهل لنا أن نتصور على ذلك أن ما حدث من تقدم علمى على مدى القرون الثلاثة الماضية كان على أساس فهم خاطئ لحقيقة الطبيعة ؟ كلا ، فهذا سوء فهم لدور الأطر الفكرية . فالإطار الفكرى لا هو بالصحيح ولا بالخاطئ . انه ليس انعكاسا للتصور ، تصوير للحقيقة له وجهته طبقا للظروف ، بالضبط كما الأسطورة ، تحمل بعضا من التصورات الزعمية التى لها فائدتها فى ظروف ما . ولقد لعب المنطق الميكانيكى دورا بلغ من النجاح درجة ولدت لدينا ميلا فطريا لاعطائه صفة الحقيقة القاطعة ، وليس تصويرا معينا لها . ولقد تعرف العلماء مدى محدودية هذا النمط الفكرى ، وأدركوا أنه يوجد الكثير خلاف التروس والعجلات كمكونات لهذا العالم .



وفى هذا المؤلف نستكشف هذه التغيرات المثيرة والمتحدية ، ومدى ملاءمتها لنا ، وليس فقط للعلماء .

وفى سردنا للقصة ، علينا أن نسبر أغوارا عميقة فى العلم ، ولكننا آلىنا على أنفسنا أن نجعل الحديث فى أبسط صورة ممكنة له ، وعزفنا على وجه الخصوص عن الرياضيات كلية ، حتى ولو كانت بعض المفاهيم الفيزيائية لا تجد معنى حقيقيا لها الا فى نطاق التعبير عنها رياضيا . فهدفنا هو اعطاء لمحة عن الصورة التى تبزغ شيئا فشيئا عن الكون ، وهى صورة لا تزال تعذبنا بمراوغتها ، الا أنها تشدنا لما تحقق بالفعل من تقدم . وليس لدينا من شك فى أن الثورة التى قدر لنا أن نكون عليها شهودا محظوظين ، سوف تغير جذريا نظرة البشر للكون .

بول ديفيز Paul Davies

جون جريبين John Gribbin

فبراير ١٩٩١



## الفصل الأول

### موت المادة

نعلم من مشاهداتنا اليومية أن أشياء تقبل التغيير ، بينما أشياء أخرى ليست كذلك . كلنا نتقدم فى العمر ، وقد نزداد حكمة ، ولكن « أنفسنا » التى اعتراها مثل هذه التغيرات هى نفسها لم تتغير . ونشهد كل يوم الجديد من الحوادث ، ولكن الشمس والنجوم على طبيعتها الثابتة . فالى أى مدى تكون مثل هذه الأمور مجرد تصورات منا ، محدودة بحواسنا البشرية ؟

وقد أثار قدماء الإغريق جدلا واسعا حول طبيعة التغيير . فقد ذهب « هيرقليطس Heraclitus » الى أن كل شىء معرض للتغيير بصورة أو بأخرى ، بينما اتجه « بارمنيدس Parmenides » الى رأى بأن الأشياء على ما هى عليه ، وليس لها أن تكون خلاف ذلك . وبالتالي لا يكون التغيير ملائما للوجود ، فالحقيقة لا تكون كذلك الا فى ثوب من الثبات .

وفى القرن الخامس قبل الميلاد عرض « ديموقريطس Democritus » مخرجا من هذه المشكلة . فقد افترض أن كل المواد مخلوقة من وحدات غاية فى الضآلة لا تقبل التجزئة ، أسماها « ذرات atoms » . وهذه الذرات هى التى لا تقبل التغيير ، فهى ذات مواصفات محددة كالشكل والحجم ، الا أنها قد تتجول فى الفراغ وتتحد سويا بطرائق مختلفة ، مما يجعل الأجسام المرئية تبدو فى صور متباينة . وبذلك يمكن الجمع بين التصورين ،

دوام التغير ودوام الثبات ، على أساس أن كل تغير فى العالم المرئى مبنى على اعادة للترتيب للمكونات الثابتة . ومنذ ذلك الحين بدأ اعتناق مذهب المادية materialism .

وكان على هذا المذهب أن يكافح ضد غيره من الأفكار لعدة قرون تلت ، كأن تكون المواد حاوية على خواص سحرية أو فعالة ، أو أنها تتمتع بقوى حيوية أو غامضة . هذه الصور الغيبية اندحرت مع تقدم العلم فى صورته الحديثة ، وتتمثل خطوة حاسمة فى هذا المضمار فى كتاب « المبادئ أو البرنسبيا Principia » لاسحاق نيوتن ، وهو الكتاب الذى حوى قوانين نيوتن الشهيرة للحركة . وكما ذهب ديموقريطس من قبله ، عامل نيوتن المادة كشيء خامد غير فعال . ففكرة « القصور inertia » تلعب دورا أساسيا فى نظريته عن العالم . فلو وجدت مادة فى حالة من انسكون ، فهى ستظل كذلك للأبد ، ما لم تؤثر عليها قوة من خارجها . وبالمثل ، لو كانت فى حالة من الحركة ، فستظل فى نفس الاتجاه ونفس السرعة ما لم تتعرض لقوة خارجية ، وبمعنى آخر ، المادة فى حالة من السلبية المطلقة .

وتعبر كلمات نيوتن نفسه عن كل ذلك . فالمادة تتكون من « جسيمات مهتكلة ( ذات كتلة ) صلبة لا تقبل الاختراق ، قابلة للحركة » . وليس من فرق لديه بين الجسيمات المكونة للمادة وما تكونه من مواد مرئية سوى قابلية الاختراق .

### عصر الآلات :

تعمقت نظرة نيوتن للمادة كشيء خامد يتشكل بالقوى الخارجية فى الفكر الغربى ، وقبلت كمبدأ أصولى فى عصر الثورة الصناعية الذى تمخض عن ثروة وقوة هائلتين . وفى القرنين الثامن عشر والتاسع عشر طوعت أوروبا وسخرت قوى الطبيعة لأغراضها الانتاجية . فمع البخار والصلب ظهرت القاطرات والبواخر العملاقة ، وغيرها مما غير وجه البسيطة حرفيا وليس مجازا . ومرتبطة بذلك تولدت الحمية للشملك ، فى صورة أو أخرى .

وقيست الثروة بهكتارات الأراضى أو أطنان الفحم أو الذهب أو أية سلعة أخرى .

وكانت الثورة الصناعية عصر الثقة المفرطة ، أوج انتصار المادية .  
لم تكن ثقة المهندسين مبنية على مجرد النجاح بناء على التجربة والخطأ ، بل على كم من المعرفة والفهم للمبادئ التى تأسس عليها عصر الآلات .  
مبادئ وضعها نيوتن منذ قرنين من الزمان ، وازدادت تبلورا على أيدي العديد ممن تلوه .

وفى عصر كتابة « البرنسيبيا » كانت أغلب الآلات المعقدة هى الساعات ، فمست نظرتة للعالم كساعة منضبطة وترا حساسا . فالساعة تمثل النظام ، والتناسق ، والدقة الرياضية ، أفكار توافقت جيدا مع الفكر الدينى السائد ، وولت أيام النظر للكون ككائن حى مزود بقوى سحرية .  
لقد أوجدت آلات نيوتن رباطا وثيقا بين السبب والنتيجة ، اذ يتطلب الحساب الميكانيكى أن تتحرك المادة بناء على قوانين رياضية قاطعة .  
ليس من مجال فيها لصفات غامضة ذاتية الفعالية . وفى الواقع مثلت السماوات - وهى التى ارتبطت على الدوام بمثل هذه القوى السحرية - حين أخضعت تماما لقوانين نيوتن قمة انتصار آرائه . فربط الجاذبية بقوانينه للحركة أمكن له أن يعطى تبريرا مقنعا لحركة القمر ومسارات الكواكب والمذنبات .

وليس لنا أن نقلل من أثر هذا التصور على تشكيل النظرة للعالم .  
فمذهب الكون المخلوق من مواد خامدة مرتبطة بآلة هائلة منضبطة كالساعات تغلغلت فى كافة فروع المعرفة . فهى قد تسودت البيولوجيا مثلا ، فنظرت للوحدات الأولية الحية كمجرد تجمعات معقدة من الذرات تخضع بصورة صماء للجذب والدفع من جيرانها . وقد أطلق « ريتشارد داوكنز Ritchard Dawkins » الفارس المفوه للبيولوجيا المادية ، على الإنسان ( وغيره من المخلوقات الحية ) « الآلات الجينية » . وعلى ذلك عوملت الكائنات الحية كآلات ذاتية الحركة . بل اخترقت هذه الأفكار مجال العلوم النفسية ، فذهبت المدرسة السلوكية الى معاملة كافة الأنشطة الفردية على



غرار النموذج الديناميكي لنيوتن ، يلعب فيه العقل دورا سلبيا ، وتترتب الاستجابة السلوكية بصورة آلية على القوى والمؤثرات الخارجية .

ليس من شك أن نظرة نيوتن الآلية كان لها فضل كبير على تقدم العلم بتقديم منهج فكر أمكن من خلاله دراسة العديد من الظواهر . ولكن ليس من شك أيضا في أنها ساهمت بقدر كبير في ابعاد البشر عن الكون الذي يقطنونه . وقد كتب « دونالد ماكاى Donald Mackay » وهو خبير في عمل العقل كنظام للاتصالات ، عن « مرض العقلية المميكنة » ، مبينا أنه « توجد نزعة متزايدة في عصرنا الحالى عند البحث عن تفسير ما أن نتصور كل موقف على أساس المقارنة بالآلة » . وحين تمتد هذه النزعة الى مجالات انسانية ، كالسياسة والاقتصاد ، فان ذلك يؤدي الى اللاأخلاقية واللاشخصانية ، يشعر معها الناس بانعدام الحيلة ، لكونهم مجرد تروس في الآلة الهائلة التى تدور غير عابثة بمشاعرهم أو أفعالهم . ولقد عزف أناس عن النظرة العلمية لكونها نظرة مادية وفلسفة جرداء ، تهبط بالانسان الى الآلية ولا تدع مجالا للابداع والخلق . ولمثل هؤلاء نبشرهم ، لقد ماتت المادية .

### فيزياء جديدة لنظام اجتماعى جديد :

من الملائم أن تشهد الفيزياء - وهى العلم الذى أبدع المادية - أيضا نهايتها . وخلال هذا القرن نسفت الفيزياء الحديثة فى تطورات مذهلة أسس المذهب المادى، فأولا كانت النظرية النسبية، التى هدمت فكرة نيوتن عن الفراغ والزمن بافتراضات تعصف بالاحساس الفطرى بالعالم . فنفس الحلبة التى كانت تدور فيها الساعة الكونية الهائلة تعرضت للترجح والالتواء . ثم من بعدها أتت النظرية الكمية ، والتى غيرت من تصورنا للمادة تغيرا جذريا ، وهجر افتراض أن الجسيمات الأولية ما هى الا صورة من الأجسام المرئية لكن بمقياس أصغر ، واستبدلت بآلة نيوتن المنضبطة خليطا مبهما ملفزا من الموجات والجسيمات، تلعب فيه القوانين الاحتمالية دورا حاسما ، كبديل لقواعد السببية القاطعة . وتذهب نظرية هى امتداد للنظرية الكمية ، وهى « النظرية المجالية الكمية quantum field theory »

لما هو أبعد من ذلك ، فترسم صورة تختفى منها المادة الصماء ، وتبدل الى تهيج وتذبذب غريبين « للطاقة المجالية **field energy** » . وتبعاً لتلك النظرية ، لم يتبق الا القليل من التفرقة بين جوهر المادة والفراغ الخالي ظاهرياً والمحيط بها ، والذي هو ذاته مجال لتهيج حامى الوطيس للنشاط الكمى . وتصل هذه الأفكار ذروتها فيما يسمى بنظرية « الأوتار الفائقة **superstrings** » . والتي تهدف الى توحيد الفراغ والزمن والمادة ، والى بناء كل منها من ذبذبات حلقات دون مجهرية من أوتار غير مرئية . تقبع فى كون تخيلى من عشرة أبعاد .

وتحط فيزياء الكم من المادية لكونها تبين أن المادة لها جوهر أقل بكثير مما كنا نعتقد . ولكن تطورا يذهب الى أبعد من ذلك يهدم صورة نيوتن للمادة ككتلة خامدة . هذا التطور هو « نظرية الهولوية (\*) » **theory of chaos** والتي نالت مؤخراً قدراً كبيراً من الاهتمام . والهيولوية هى فى الواقع جزء من ثورة جامحة فى طريقة رؤية العلماء الآن للنظم الديناميكية . ولقد اتضح أن ما يسمى بـ « التأثيرات غير الخطية **non-linear effects** » ، تجعل المادة تتصرف تصرفات غاية فى الغرابة ، كأن تكون ذاتية التنظيم ، وخلاقة للهياكل والنماذج بصورة تلقائية . والهيولوية من هذا المنظور هى حالة من ذلك ، تحدث فى النظم غير الخطية التى تصبح غير مستقرة وتتغير كيفما اتفق بصورة غير قابلة للتنبؤ تماماً . وبذلك تتبخر الساعة الكونية المنضبطة لتفسح المجال لعالم ذى مستقبل منفتح ، تتحرر المادة فيه من قيود تكتلها وتكتسب عنصراً خلاقاً .

ولسوف نمحس فى الفصول القادمة كل هذه التطورات التى تأخذ بالألباب ، ونتعرف على العالم الذى يتمخض عنها . وسوف نرى أن المادة قد أنزلت من موضعها المركزى لتحل محلها مفاهيم مثل التنظيم ، التعقيد ، والمعلوماتية . ويقوم ذلك بالفعل بإعادة تشكيل أولوياتنا الاجتماعية . خذ مثلاً « ثورة تكنولوجيا المعلومات » ، حيث يتوقع أن يكون المستقبل للشركات القادرة على حياة قصبة السبق فى المعلومات والاستراتيجيات التنظيمية ، على حساب الثروة المادية التى كانت عماد الثروة الصناعية الأولى . وعلى حد تعبير الكاتب جورج جيلدر :

(\*) فى بعض المراجع يشار لها بنظرية الفوضى .

« ان الأمم والمؤسسات الصناعية اليوم هي المسيطرة ليس على الاراضى والمصادر المادية ، ولكن على الأفكار والتكنولوجيات . . . فالشبكة العالمية للاتصالات يمكنها أن تحمل بضائع أكثر قيمة مما تحمله البواخر العملاقة . ولسوف تأتي الثروة ليس لمستغلى العبيد ، ولكن لمطلقى الطاقة الخلاقة للانسان ، ليس لغزاة الاراضى ولكن لمحرقى العقول » .

ويستطرد جيلدر : « وفى هذا التخلي عن المادية ستتفوق قدرة العقل فى كل مكان على القدرة الغاشمة للأشياء ، محولة عالما ماديا مكونا من أجسام صماء خاملة الى مجال ثرى بومضات مشرقة من الطاقة المعلوماتية » .

وليس من دولة تواجه مثل هذا التحدى مثل استراليا . فعلى مدى تاريخها كان اقتصادها منحصر فى صادرات مثل الفحم واليورانيوم والصوف ، ولأسباب تاريخية واقتصادية لم تحظ بتطور تصنيعى ، حيث انها لم تلحق بالثورة الصناعية التى شكلت مجتمعات كالولايات المتحدة واليابان وأوربا . وعلى ضوء تفكير مستنير ، اتخذت الحكومة قرارا غير عادى ، أن تقفز فوق مرحلة الثورة الصناعية ، وأن تقتحم سوق الأفكار والمعلومات والتعليم . وقد أعلن رئيس وزرائها أن على استراليا ألا تقنع بكونها « الدولة المحظوظة » ، بل أن تتحول الى « الدولة الماهرة » .

وتتمثل النتيجة الملموسة حتى الآن لهذا القرار فى خطة لإنشاء طراز جديد من المدن ، يعرف باسم « مدينة الأنشطة المتعددة multifunction Police (MFP) مقرها أدلاید Adelaide وفى هذه سوف تنشأ معاهد للأبحاث ، وتصمم نظم للبيئة على أسس علمية ، وتقدم التسهيلات الصحية والترفيهية المتطورة . وستصمم المدينة على مفهوم الشبكات ، بمعنى أنها ستكون على هيئة قرى مستقلة مترابطة بشبكات اتصالات على أعلى مستوى تكنولوجى من السرعة والكفاءة . كما ستربط المدينة بغيرها من مدن الدولة ، وشيئا فشيئا مع مدن العالم بما ينتهى بكسر العزلة الجغرافية لاستراليا .

ولعل أكثر العناصر خيالا فى المشروع هو الاعتراف بأن التعليم والأبحاث العلمية هى مصادر للثروة عالية القيمة، يمكن تسويقها كأية سلعة أخرى. ومن خلال الشبكة العالمية يمكن أن تلقى المحاضرات لبلدان العالم الثالث ، ويمكن أن تجرى العمليات الجراحية فى جانب ما من العالم وتراقب من الجانب الآخر . ولتنفيذ ذلك سوف تنشأ فى المدينة المذكورة جامعة عالمية ، تربط مع الجامعات المحلية والعالمية ، وبمعنى آخر تطوير للجامعة المفتوحة التى ارتادت بها بريطانيا هذه الفكرة ولكن على مستوى عالمى باستغلال التطور التكنولوجى فى الاتصالات .

وهذه الخطط المستقبلية لاسترااليا ستصبح نماذج تعمم على مستوى العالم ، تتضاءل معها قيمة السلع المادية لتتزايد قيم السلع الذهنية من أفكار ومعلومات ، وسيركز النظام الاجتماعى الجديد ليس على مفهوم الساعة الكونية النيوتونية ، بل على صورة الشبكات لعالم ما بعد نيوتن . ذلك أننا نعيش فى شبكة كونية ، وليس ساعة كونية ، شبكة من القوى والمجالات ، ومن ترابطات كمية ، ومن مادة خلاقة غير خطية الخواص .

### طبيعة الحقيقة العلمية :

فى تخلينا عن النظرة القديمة للعالم ، فان تغييرا حاسما فى نمط التفكير يغير مفهومنا للحقيقة ، والتى كانت تبنى على أساس فهم فطرى للسببية . فبينما كانت الصورة النيوتونية للحقيقة على أساس الادراك الانسانى الفطرى مفيدة فى عهد ما ، فانه فى عالم التجريد الفيزيائى العجيب ليس لدينا من وسيلة سوى المعادلات الرياضية المعقدة لتفهم الطبيعة . وفى تخلينا عن المفهوم النيوتونى المادى علينا تقبل أن الأشياء فى نماذجنا النظرية وكيونات العالم الخارجى تحمل علاقات أكثر خفاء مما افترضناه حتى الآن . بل انه فى الواقع ، ان ما نعينه أصلا بالحقيقة والواقعية يجب أن يعاد تشكيلهما .

ورغم أننا نعيش فيما يسمى بعصر العلم ، فان العلم وحده ليس النظام الوحيد للفكر الذى يثير انتباهنا . فالعديد من الديانات والفلسفات

تدعى أنها تقدم نظرات عن العالم أكثر غنى وشمولية . فالقضية بالنسبة للعلم تركز على ادعاء أنه يتعامل مع الواقع ، فمهما كانت النظرية العلمية جميلة الصياغة ، ومهما كان حظ وأصعها من الشهرة ، فهي لن تكون مقبولة ، ما لم تعزها نتائج التجارب .

ان النظرة للعلم كأساس خالص وموضوعي لاستجلاء الحقيقة من معايشة العالم الواقعي هي نظرة مثالية ، فالواقع يبين أن الحقيقة العلمية كثيرا ما تكون أكثر خفاء ومشاكسة .

في قلب الطريقة العلمية تكمن صياغة النظريات ، وهي أساسا نمذجة للحقيقة ، أو جزء منها ، ويهتم قدر كبير من مفردات العلم بالنماذج أكثر من الحقيقة . فعلى سبيل المثال ، يستخدم العلماء غالبا كلمة « اكتشاف » للإشارة الى تقدم علمي خالص ، وعلى ذلك فاننا نسمع أن « ستيفن هوكنج » قد « اكتشف » الثقوب السوداء . هذا القول يشير حقيقة لتحليل رياضي ، فلم يتمكن أحد للآن من رؤية مثل هذه الأجرام ، أو حتى استشعار أية اشعاعات حرارية منها .

ان العلاقة بين النمذجة العلمية والواقع الذي تدعى أنها تعبر عنه لتثير قضية أعمق . ولتوضيح المشكلة ، سنبدأ بشيء مباشر للغاية . في القرنين السادس عشر والسابع عشر قلبت أعمال كوبرنيكس وكبلر وجاليليو ونيوتن معتقدات دينية سادت لقرون عن مركز الأرض بالنسبة للكون ، وقد قدم جاليليو للمحاكمة أمام الكنيسة لموافقته لكوبرنيكس في دوران الأرض حول الشمس ، الأمر الذي يتعارض مع نظرة الانجيل للفلك التي نجعل من الأرض مركزا للكون .

والحقيقة المثيرة للدهشة أن السلطات الكنسية لم تعترض على مفهوم حركة الأرض حينما استخدم كنموذج لحساب حركة الأجرام السماوية ، فالذي أثار اعتراضهم هو الاعتقاد بأنها تتحرك حقيقة . ولكن هذا يثير سؤالا محيرا ، متى يعتبر النموذج مجرد أداة حسابية ، ومتى يعتبر وصفا للحقيقة ؟



لقد بدأ العلم كامتداد للمنطق الفطرى، يعدل منه وينمطه بدرجة أكبر ، وعلى ذلك فحينما يبدأ العلماء فى وضع النظريات فانهم غالباً ما يأخذون العالم بحقيقته السطحية . ولذا فحينما بدأ الفلكيون الأقدمون فى معالجة موضوع حركة الأجرام السماوية ، قاموا بوضع نموذج للكون تمثل الأرض فيه مركزاً لكرات متحركة تحفل الشمس والقمر والنجوم والكواكب . وبزيادة الدقة فى الملاحظة كان من اللازم تعديل النموذج ليشمل المزيد من الكرات ، والكرات المتداخلة . وازداد النموذج تعقداً ، وحين وضع كوبرنيكس الشمس فى المركز ، تبسط النموذج بصورة جذرية .

واليوم ، لا يشك عالم فى كون الشمس مركز المجموعة الشمسية ، وأن الأرض هى التى تدور وليست السماء . ولكن هل يؤسس هذا حقاً على مجرد أن نموذج الشمس المتمركزة أبسط من الأرض المتمركزة ؟ أم أن المسألة أعمق من ذلك ؟

ان النظريات العلمية يفترض أن تكون مجرد تصوير للحقيقة . وليست هى الحقيقة ذاتها . ولقد بدأ من الواضح أنه مهما حاولنا من تعديل لنموذج الدوائر المتداخلة ليكون أكثر دقة فى حساب مواضع الأجرام السماوية ، فسيظل هناك خطأ بمعنى أو بآخر . والمشكلة كيف يتسنى لنا أن نعرف أن وصفنا اليوم للنظام الشمسى صحيح ؟ مهما كانت درجة تأكيدنا من الصورة الحالية ، فليس لنا أن نستبعد كلية أن صورة أكثر دقة قد تكتشف فى المستقبل . وطالما أن النماذج العلمية مرتبطة برباط قوى بالتجارب ، حيث يكون المنطق البديهى مرشداً يعول عليه ، فنحن نشعر بثقة فى قدرتنا على التمييز بين النموذج والحقيقة . ولكن هذا ليس ميسراً فى بعض فروع الفيزياء . فمفهوم الطاقة مثلاً مألوف لنا اليوم ، ولكنه كان قد أدخل فى الأصل ككمية رياضية بحتة لتيسير وصف بعض عمليات الديناميكا الحرارية . ونحن لا نرى مثل هذه الطاقة ، ولكننا نتقبل وجودها لكوننا قد تعودنا على استخدام هذا المصطلح .

والوضع أشد سوءا في الفيزياء الحديثة ، حيث أحيانا ما تتميع الحدود بين النموذج والحقيقة بدرجة تدعو لليأس . ففي نظرية المجال الكمي على سبيل المثال ، غالبا ما يشير العلماء لكيّنونات مجردة مثل الجسيمات ، التقديرية ، . هذه الأشياء اللحظية الوجود تتخلق من لا شيء ، وغالبا ما تتلاشى في لمح البصر . وعلى الرغم من امكانية رصد أثر وجودها العابر على المادة العادية ، الا أنها هي ذاتها غير قابلة للرؤية . فالى أى مدى يمكننا القطع بوجودها حقيقة ؟ هل الجسيمات التقديرية هي مجرد وسيلة تساعد المنظرين على وصف عمليات يستحيل وصفها بمسميات الأشياء المألوفة ، أم أنها - كالدوائر المتداخلة - جزء أساسى من نموذج سيتكشف خطؤه في المستقبل ، ويستبدل به ما هو أحدث ؟

### ما الحقيقة ؟

بصفة عامة ، كلما ابتعد العلم عن المنطق البديهي ، صعب التمييز بين النموذج وما يفترض اعتباره وصفا أميناً للعالم الواقعي . فمن الغرائب المرتبطة بالجسيمات الأولية ما تحمله من كتل . البروتون مثلا كتلته أثقل من الإلكترون بمقدار ١٨٣٦ مرة ، لماذا هذه النسبة بالتحديد ؟ لا أحد يعلم . ويضم الحصر الكامل مئات من مثل هذه الأرقام . ورغم أنه يمكن استشفاف شيء من التسلسل المنظم ، الا أن القيم الدقيقة لتلك الأرقام تظل أمرا عجيبا .

وليس من المستبعد أن يخترع شخص ما آلة موسيقية تعزف على نوتة بنفس هذه الأرقام ، ووقتها سنقول ان تلك الآلة هي نموذج لكتل الجسيمات ، ولكن هل يمكن لأحد أن يقول ان هذه الكتل هي حقا نوتة في نظام موسيقى مجرد ؟ تبدو الفكرة بلهاء ، ولكن حذار ، فقد سبق القول بأن الفيزيائيين مهتمون حاليا بنظرية الأوتار الفائقة ، والتي تدعى أن ما تخيلناه دائما على أنه جسيمات دون الذرية ما هي الا استثارة ، أو تذبذب ، لحلقات من أوتار صغيرة ! وعلى ذلك ففكرة الآلة ليست مجنونة تماما في نهاية الأمر . وفي المقابل ، ليس لنا أن نرى تلك الأوتار لضآلتها البالغة ، فهل لنا أن نعتبرها موجودة حقيقة ، أم مجرد تكوين نظري ؟

وإذا كان لنا أن نستعرض التاريخ ، فإن للطبيعة عادة سيئة في خداعنا حول ما هو حقيقى وما هو من صنع خيالنا . وليست الحركة الظاهرية للنجوم سوى واحدة من قائمة طويلة لحالات تضليل العلماء حين يأخذون الطبيعة بصورتها السطحية .

واليك أمثلة أخرى من البيولوجيا . فالجسيمات البيولوجية لها من الخواص الواضحة ما يجعلنا نتصور أنها مطعمة بقوى خاصة ، وهذه النظرية تسمى نظرية المذهب الحيوى **vitalism** ، وكان له شيوخ فى مطلع هذا القرن . فقد كان هانز درايش **Hans Dreisch** مفتونا بالطريقة التى يتطور بها الجنين من بويضة ملقحة الى مخلوق كامل الأعضاء . وما شد انتباهه بصورة خاصة مقدرة بعض الأجنة على مقاومة ما قد تتعرض له من فساد ، وبدا له أنها تحت رقابة من قوة خفية تقود خطواتها ، أسماها **entelechy** (١) .

وقد هجر المذهب الحيوى اليوم بعد ما تم من دراسات متقدمة للبيولوجيا الجزيئية ، كإكتشاف حمض ال **D.N.A.** والتعرف على الشفرة الجينية ، حيث اتضح أن الحياة مؤسسة على تفاعلات كيميائية لا تختلف عن تلك التى تجرى بين المواد الخامدة . وقد اتضح ما وقع فيه درايش وأمثاله من تضليل نتيجة عدم فهمهم لكيفية إمكان عدد ضخم من الجزيئات أن تعمل معا بصورة تأخذ شكل التعاون المشترك ، دون حاجة لحطة مسبقة تفرض عليها .

وتاريخ نظرية التطور مليء بمثل هذه الزلات . خذ مثلا كيف كانت وجهة نظر لامارك منطقية فى نظريته للنشوء والارتقاء ، وبمقتضاها تكدرج الكائنات لبلوغ هدف تصبو اليه ، الأسود تحاول زيادة سرعة عدوها ، لتلحق بفرائسها ، والزراف يحاول اطالة رقبتة للوصول الى أوراق شجر أعلى ، وهكذا . مثل هذه المحاولات لها تأثير على النسل ، بحيث يكون الجيل التالى من الأسود أسرع بدرجة بسيطة ، ومن الزراف أطول أعناقا بقدر ما . ويكون ابن الحساد ، بناء على هذه النظرية ،

مولودا بقضلة ساعد أقوى ، حيث ان أباه قد استعملها بدرجة أكبر طوال حياته . وبهذه النظرية تزداد المخلوقات تكيفا مع بيئتها .

ولهذه النظرية وجاهتها بناء على ما نشاهده ، فالمخلوقات تكدر بالفعل للوصول لأغراضها ، والحفريات تبين أنها تزداد تكيفا مع ظروفها البيئية الخاصة مع تطور الأجيال . ولكن النظرية خاطئة ، اذ بينت التجارب أن مثل هذه الصفات لا تورث ، بل ان التغيرات بين الأجيال ، وكما بين داروين بحق ، تتم عشوائيا ، ويقوم الانتخاب الطبيعي باستبقاء الأصلح منها ، وبذلك يكون التطور فى الطبيعة .

ويعتقد الفيلسوف توماس كون أن العلماء يتمسكون بمنطقهم الفكرى بشدة ، فلا يبدلونه إلا حين تظهر دلائل قاطعة على فسادهم . ومثل هذا المنطق يشكل أسلوبهم فى وضع نظرياتهم ، وله تأثير قوى على طريقة استخلاصهم للنتائج . واذا كان التجريبيون يفخرون بموضوعيتهم ، الا أنه مع الوقت يأخذون فى تكييف بياناتهم عن غير وعى لتوائم أفكارهم المسبقة . وأحيانا تجرى أكثر من تجربة ، ويستشف منها نفس النتيجة الخاطئة ، لأنها النتيجة المتفقة مع ما كان متوقعا . وقنوات المريخ مثال لذلك . فما أن أعلن G. V. Schiaparelli عن رصده لها عام ١٨٧٧ ، حتى أكد عدد من الفلكيين وجودها ، بل ووضعت لها خرائط تفصيلية . ولكن مركبة الفضاء مارينر ٤ لم تظهر أى وجود لمثل هذه « القنوات » .

أو خذ مثال نظرية « اللاهوب philogiston » (٢) فى الاحتراق . ففي القرن السابع عشر اقترح جورج ايرنست شتال George Earnst Stahl أنه عندما تحترق مادة أو تصدأ ، فانها تعطى مادة أعطاها ذلك الاسم . وكانت الفكرة بادية الواجهة ، فالمواد المحترقة أو الصدئة تبدو أنها تعطى بالفعل شيئا ما . ولكن مرة أخرى يتبين خطأ هذا الرأى . اذ بينت التجارب التالية أن تلك المواد تأخذ من الهواء شيئا ما ، ألا وهو الأكسوجين .

وما هذه الا أمثلة تبين كيف أن العلماء قد يرون أمورا على غير حقيقتها . وفي أحيان أخرى يقتنعون في رؤية ما هو موجود . فوجود الشهب ظل أمرا مشكوكا فيه لقرون ، اذ كان ضربا من الخطل أن يظن أن السماء تمطر صخورا . ولكن حالة من هذه أجبرت الجمعية العلمية الفرنسية على تغيير موقفها ، ثم تلتها بقية الجمعيات .

### ما وراء المنطق البديهي ؟

حين يحدث تحول في منهج التفكير ، فغالبا ما يكون ذلك مصحوبا بخلافات حادة . ومثال على ذلك « الأثير » . فقد بين ماكسويل James Clerk Maxwell ، أن الضوء ما هو الا موجات كهرومغناطيسية، وكان من المنطقي أن هذه الموجات محتاجة لوسط تنتشر فيه . فمن البديهيات أن الموجات تنتشر خلال شيء ما . فالموجات الصوتية تنتشر خلال الهواء ، وأمواج البحر تنتشر خلال الماء . ولما كان الضوء يصلنا من الشمس وغيرها من النجوم فيما بدا فراغا ، كان لابد من تصور مادة غير مرئية أو محسوسة تملأ هذا الفراغ ، وتنتقل خلالها موجات الضوء .

وبلغ من ثقة العلماء بوجود هذه المادة أن أجريت التجارب لقياس سرعة الأرض بالنسبة لها ، ولكن هيهات ، فقد بينت التجارب بصورة قاطعة أن الأثير ليس له وجود . وأثارت هذه النتيجة جدلا واسعا ، الى أن كان المخرج من المحنة عام ١٩٠٥ ، من خلال تغيير في منهج التفكير . فبالنظر للزمان والمكان كاشياء مرنة تتغير بحسب اطار الاسناد ، تمكن آينشتين من بيان أن نظريته النسبية تجعل من الأثير افتراضا لا داعي له . وبدلا منه عوامل الضوء كاضطرابات على شكل موجات في مجال كهرومغناطيسي مستقل الوجود ، يتحول من اطار اسناد للآخر بصورة تجعل حركة الأرض خارجة عن الموضوع .

أما بالنسبة لأهل القرن الماضي ، فقد كان الأثير حقيقة موجودة . بل ان بعض الناس ( ليس منهم الفيزيائيون بالطبع ) ما زالوا متمسكين بالفكرة ، فكثرا ما نسمع أن موجات الاذاعة تنتقل « عبر الأثير » ، ولكن

على سبيل التجاوز اللغوى . والسؤال هنا ، كيف لنا أن نتأكد من عدم وجود الأثير ؟ فأولا وأخيرا ، المجال الكهرومغناطيسى هو أيضا كينونة مجردة غير قابلة للرؤية المباشرة . يمكن للمرء مرة أخرى أن يقول ان نظرية النسبية أبسط من غيرها ، ولكن بينما حالة الأرض فى دورانها حول الشمس واضحة ، فان حقيقة وجود الأثير ، أو المجال الكهرومغناطيسى ، أو عدم وجود شيء منهما ، يظل أمرا أكثر غموضا .

وقد يبلغ التمسك بالمنطق البديهي درجة المجادلة حتى فى أكثر أفكار العلم الحديث رسوخا . فحتى بعد ما يقرب من قرن من الاختبارات الجادة لنظرية النسبية ، لا تفتأ بعض المجلات العلمية تنشر بحوثا لأفراد ( أغلبهم ممن ليس له وزن علمى يذكر ) يدعون وجود ثغرات فى النظرية النسبية ، محاولين ارجاعنا الى عهد الزمان والمكان المطلقين . والأساس المعتاد لمثل هذه الهجمات هو أن العالم لا يمكن أن يكون حقيقة على الصورة التى ادعاها آينشتين ، وأن نظرية تتعامل مع الحقيقة يجب أن تكون مفهومة ببساطة فلا تلجأ الى نماذج مجردة .

على أن المصاعب الخاصة بالعلاقة بين النماذج المجردة والواقع لا يجب أن تقلل من كون العلم يتعامل مع الحقيقة ، فمن الواضح أن النظريات العلمية - حتى فى أكثر صورها تجريدا - تحتوى على بعض عناصر الواقع ، ولكن السؤال هو ما اذا كان بمقدورنا أن ندعى أن العلم يعبر عن الحقيقة الكاملة . هناك بالطبع علماء ينكرون أن العلم قد ادعى من قبل مثل هذا الادعاء المتبجح . فالعلم قد يفلح بدرجة كبيرة فى وصف الالكترون مثلا ، ولكنه محدود القدرة حين نتحدث عن شيء كالحب ، والمثاليات ، أو معنى الحياة . مثل هذه المعاشات هى جزء من الحقيقة ، ولكن يبدو أنها خارج مجال العلم .

ولعل هذا القصور من جانب العلم قد تسبب فى الهجمة المضادة للعلم التى نشاهدها حاليا فى العالم الغربى ، والخطر أن العلم سوف

يتخلى عنه لحساب نظم من التفكير مبنية على الغيبيات لا الوقائع .  
والأسوأ من ذلك أن يتمسك بالعلم ، ولكن لتسخيره لأفكار عقيدية ،  
فنسمع عن « العلم الاسلامى » أو « العلم الأنثوى » . فلا يوجد بالطبع  
مسوى علم واحد ، وهو يتعامل مع الحقائق وليس مع العقائد . والشئ  
المهم هو تقدير أن هذه الحقائق قد تكون محدودة ، أو قد تفشل فى شفاء  
غليل البعض لفهم الحقيقة المطلقة .

وقد يتساءل المرء اذا كان العلم سيظل محدود القدرة فى هذا  
المضمار . هل من الممكن أن نتصور العلم قادرا فى المستقبل على الاجابة  
على الأسئلة الفاصلة ، والتعامل مع الحقيقة المطلقة ؟ يبدو أن الاجابة هى  
بالنفي ، حيث ان العلم يحتوى بداخله تعبيرا عن قصوره .

فى الثلاثينيات ، كان الفيزيقيون تحت تأثير قوى لحركة تسمى  
« الوضعية » **positivism** ، تنشده البحث عن جذور الحقيقة فيما  
يمكن مشاهدته فقط . وقد ذهب مؤسسو ميكانيكا الكم ، خاصة نيلز بوهر  
**Neils Bohr** وفيرنر هايزنبرج **Werner Heisenberg** الى أننا حين نتحدث  
عن الذرة والالكترون وغيرهما ، لا يجب أن نسقط فى زلة تصورهما كمجرد  
أشياء صغيرة تعيش على استقلال حياتها الخاصة . فميكانيكا الكم تمكننا  
من ربط مشاهدات مختلفة على الذرة مثلا . ويجب اعتبار النظرية على  
أنها اجراء لربط هذه المشاهدات فى نوع من النظام المنطقى المستقر  
- خوارزم (٣) **algorithm** رياضى ، واستخدام كلمة « ذرة » ما هو  
الا طريقة غير رسمية للحديث عن هذا الخوارزم ، أو وسيلة معاونة  
لتدبيج هذا المعنى المجرد فى اللغة الفيزيكية ، ولكنها لا تعنى أنه توجد  
« كينونة » معرفة تعريفا دقيقا وذات خصائص محددة تحديدا قاطعا من  
موضع وسرعة .

وتعبر كلمات هايزنبرج عن هذا المعنى : « فى التجارب المتعلقة  
بالأحداث الذرية علينا أن نتعامل مع أشياء وحقائق ، ومع ظواهر واقعية  
شأنها فى ذلك شأن أية ظواهر فى حياتنا اليومية . ولكن الذرات أو  
الجسيمات الأولية ذاتها ليست بنفس هذه الواقعية ، فهى تكون عالما

## استطورة الحقيقة

من الاحتمالات والامكانيات وليس من الأشياء والحقائق ، . كما يعبر  
بوهر عن ذلك بقوله : « ليست الفيزياء متعلقة بماهية الأشياء ، ولكن  
بما يمكن أن نقوله عنها » . فبالنسبة لهؤلاء الفيزيائيين لم تتجاوز  
الحقيقة حقائق التجارب ، فالنتائج تظهر على أجهزة مرئية ، أما مصطلح  
« ذرة » فلم يعد الا شفرة لنموذج رياضي ، ليس مقصودا منه التعبير عن  
جزء مستقل من الواقع .

ولم يكن كل الفيزيائيين مستعدين لتقبل هذا الوضع فأينشتين  
على سبيل المثال عارضه بشدة ، مصرا على أن عالم الكم المجهرى يحتوى  
على أشياء مثل الذرات لها حقيقتها الكاملة ، كالكرسى والمائدة . والفرق  
من وجهة نظره هو مجرد قياس الأبعاد . كما يتمسك دافيد بوم  
David Bohm بنفس المنطق ، ذاهبا الى أنه توجد حقائق فعلية فى  
العالم الكمى المجهرى ، وحتى وان كانت مشاهداتنا قاصرة عن بيانه  
بصورة تامة .

هذا الانقسام العميق بين العلماء حول طبيعة الحقيقة يظهر مدى  
التردد فى القول بأن العلم يتحدث عن الحقيقة الكاملة . فميكانيكا الكم  
يبدو أنها تضع حدا متأصلا للعلم فيما يمكنه أن يخبر عن العالم ، وتجعل  
من الأشياء التى تعودنا على اعتبارها حقيقة مجرد كينونات للنمذجة .

وعلى الرغم من الدعم الهائل الذى تلقته فلسفة هايزنبرج وبوهر ،  
فان الرغبة فى التساؤل عما يكونه العالم حقيقة ما تزال جياشة . هل  
الذرة موجودة حقا ؟ هل الأثير موجود حقيقة ؟ يبدو أن الاجابة هى  
« ربما » و « ربما لا » على الترتيب . ولكن العلم ليس قادرا بالمرّة  
على اخبارنا .

وفى مواجهة هذا القصور قد يحلو للبعض أن يتغلى عن العلم ويلجأ  
للدين ، أو يعتنق نظاما من النظم الشاذة التى نشاهدها فى أيامنا هذه .  
ولكن هذا سيكون خطأ جسيما . فمن المؤكد أنه من الأفضل تقبل نظام  
فكرى يضع قيودا غير متساهلة بالنسبة للموضوعية وللتشكك ، حتى



وان كان لا يعبر عن جزء من الحقيقة ، عن اعتناق عقائد عن غير تبصر .  
وليس معنى ذلك أن الدين ليس له دور ، طالما كان متعلقا بالمسائل  
الخارجة عن نطاق العلم الوضعي (٤) . وبالنسبة لكثير من الناس فهذه  
المسائل هي الأكثر أهمية .

ويكفى هذا عن القصور في العلم ، فبعد أن عرضنا بأمانة ما لا يمكن  
للعلم أن يخبر عنه من الكون ، نبدأ من الآن في الحديث عما يمكن للعلم  
أن يقوله عن العالم الذي نعيش فيه ، والواقعية الجديدة التي تتمخض  
عن الفهم الحديث ليس لسلوك الجسيمات الأولية ( سواء أكانت حقيقة  
أم لا ) منفصلة ، بل مجموعات منها تعمل ، أو تتعاون ، في نظم معقدة .  
ان التغيير في المنهج الفكري الذي نعيشه حاليا هو تحول من الفكر  
التجزئي إلى العمومي ، وهو تحول له عظمتة ككل تغيير في المنهج الفكري  
على مر التاريخ .

## هوامش الفصل الأول

(١) كلمة اغريقية تعنى « تحقيق الكمال ، راجع : قاموس The concise Oxford dictionary ( المترجم ) .

(٢) مادة كيميائية وهمية كان يعتقد - قبل اكتشاف الأكسجين - أنها مقوم أساسى من مقومات الأجسام الملتهية - ( المورد ) .

(٣) تسلسل اجرائى لحل مسألة رياضية معينة - ( المترجم ) .

(٤) يقول الرسول الكريم فى هذا الخصوص : « انتم اعلم بامور ديناكم » -  
( المترجم ) .

## الفصل الثانى

### الهيولية وتحرر المادة

العالم بأكمله مؤسس على أن العالم الفيزيقي محدد تحديدا قاطعا ، وأن هذه القطعية معبر عنها بأجلى صورة فى القوانين الفيزيكية . ولا أحد يعلم من أين أتت هذه القوانين ، ولا لماذا تعمل بصورة تبدو مطلقة ومطرودة ، ولكننا نراها تعمل من حولنا فى توافق ليل نهار ، على غرار حركة الكواكب أو دقائق الساعة .

على أن الانضباط ليس بهذا الاطراد ، فتقلبات الطقس ، والدمار الناشء عن الزلازل ، والشهب الساقطة من السماء ، كلها حوادث تبدو عشوائية لا ضابط لها . وليس من عجب أن يرجع الأقدمون هذه الأفعال الى نزوات الآلهة . ولكن كيف لنا أن نوفق بين هذه « الأفعال الالهية » وما يفترض من وجود قوانين يعمل الكون بمقتضاها ؟ .

ولقد نظر فلاسفة الاعريق للعالم على أنه ساحة للنزال بين قوى تنظيمية ، ينتج عنها الكون المنظم cosmos ، وقوى تعمل فى اتجاه العشوائية ، ينتج عنها الهيولى chaos . وكان ينظر لمثل هذه العشوائية، أو الهيولية ، على أنها أمر سلبي يمثل الشر . ونحن لا ننظر اليوم للحوادث الخاضعة للصدفة على أنه أمر شرير ، أو تخطيط أعمى . فهى لها دورها البناء ، كما فى عمليات التطور البيولوجية ، كما أن لها دورها

الهدام ، كما فى سقوط جناح طائرة بسبب الاجهاد الذى تعرض له معدنه .

ورغم أن الصدف الفردية قد تبدو بلا قانون يحكمها ، إلا أن العمليات العشوائية تظهر خضوعا لنظم احصائية عميقة . ففى الواقع ، يعطى مدير كازينو القمار ثقته فى قوانين الصدفة بقدر ما يعطيه المهندس لقوانين الفيزياء . ولكن هذا قد يثير تناقضا ، فكيف تخضع عجلة الروليت لقوانين الفيزياء وتخضع فى نفس الوقت لقوانين الصدفة ؟

### هل الكون حقا آلة ؟

كما رأينا ، فقد أصبح العلماء متعودين تحت تأثير قوانين نيوتن أن ينظروا للكون كآلة منضبطة . وتجد هذه العقيدة أبلغ تعبير عنها فى أعمال بيير لابلاس P. Laplace فى القرن الثامن عشر ، فقد نظر الى كل جسيم فى الكون على أنه مقيد بقوانين الحركة تقيدا لا فكاك منه ، فهذه القوانين تحكم حتى أصغر ذرة فى الكون والى أدق التفاصيل . وعلى ذلك فقد رأى أنه من معرفة حالة الكون فى لحظة معينة ، يمكن حساب مستقبله بكل دقة بتطبيق قوانين نيوتن للحركة .

وكما ذكرنا فى الفصل الأول، فإن النظر للكون كآلة تخضع لقوانين منزهة عن الخطأ قد أثر على النظرة العلمية تأثيرا بالغا . وكان هذا مناقضا تماما للنظرة الاغريقية للكون على أنه كائن حي . فالآلة ليست لديها « ارادة حرة » ، فمستقبلها محدد بصرامة من بداية حياتها لنهايتها . وفى هذه الصورة لا يلعب الزمن دورا أساسيا ، فالمستقبل محتو بالفعل فى الحاضر ، وكما عبر ايليا بريجوجين Ilya Prigogine ببلاغة ، لقد حُجِمت صورة الاله الى مجرد كاتب للسجلات ، كل ما عليه أن يقلب صفحات التاريخ المحتوم للكون .

ومن داخل هذه الصورة الآلية الصماء للكون تكمن ضمنيا فكرة أنه لا توجد حوادث وليدة للصدفة فى الطبيعة . فقد تبدو حوادث أنها

عشوائية ، ولكن تبرير ذلك هو في جهل الانسان بتفاصيل العمليات التي تولدت عنها .

فلنأخذ مثلا الحركة البراونية . جسيم ضئيل معلق في سائل ( أو ذرة غبار في الجو ) ، نشاهده تحت المجهر يتحرك في عشوائية ، مع صدامه المتواصل بجزيئات السائل ( أو الهواء ) من كل اتجاه . هذه الحركة هي مثال تقليدى للعمليات العشوائية التي يصعب توقعها . ولكن طبقا لمنطق لابلاس ، لو أتيح لنا أن نتعرف على تفاصيل كل حركة لكل جزيء في السائل ، فان الحركة البراونية ستكون محددة بدقة تماثل حركات الساعة . فالعشوائية البادية في هذه الحركة ليست الا نتيجة لنقص معلوماتنا عن حركات الآلاف من الجزيئات ، وهو نقص ناتج عن أن حواسنا ، وما لدينا من أجهزة ، ليست بالدقة التي يمكننا من الرؤية على المستوى الجزيئى .

وساد لفترة الاعتقاد بأن الحوادث التي تبدو ظاهريا وليدة الصدفة هي نتيجة لجهلنا ، أو لما نقوم به من توسيط ( أخذ المتوسطات ) لعدد هائل من الحوادث الخفية عنا . فقفز العملة أو رمى النرد أو حركة عجلة الروليت ، نظر اليها على أنها عمليات منضبطة ، فقط لو أتيح لنا أن نرى على مستوى الجزيئات . ان الانضباط الصارم للآلة الكونية يضمن خضوع كل حادثة مهما بدت عشوائية للقوانين .

وفي القرن العشرين حدث تطوران هزا من الثقة في هذه الصورة الآلية ، أولا كانت ميكانيكا الكم ، وفي صميم قلبها يكمن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج ،والذى ينص على أن أى شئ نريد قياسه يخضع بالفعل لتغيرات عشوائية . ولسوف يقال المزيد عن ذلك في الفصل السابع ، المهم هنا أن هذه التغيرات ليست نتيجة القصور البشرى أو مستويات أخفى للآلة الكونية ، انها عشوائية كامنة في أسلوب عمل الطبيعة على المستوى الذرى . فمثلا ، الوقت المحدد لتحلل نواة معينة في مادة مشعة أمر بطبيعته غير قابل للتحديد . وهكذا ألحق بالطبيعة عنصر أصيل من عدم القدرة على التنبؤ .

وعلى الرغم من هذه اللاقطعية ، فان ميكانيكا الكم تظل نظرية منضبطة بمفهوم معين ، فاذا كانت العملية الكمية الواحدة غير قاطعة النتائج ، فان الاحتمال النسبى لنتائج مجموع العمليات يجرى على نمط منضبط . وبمعنى آخر ، فانه اذا كنا غير قادرين على التنبؤ بنتيجة رمى النرد الكمى ، فى عملية ما ، فاننا نعلم بدقة بالغة كيف تتغير المضاربة من لحظة لأخرى . فميكانيكا الكم ، كنظرية « احصائية » ، هى نظرية محددة . وعلى هذا الأساس يعمل الحاسب الآلى بما صمم عليه ، على الرغم من استحالة توقع تصرف كل الكترون فى نظامه . فالفيزياء تجعل من الصدفة عنصرا أصيلا من عناصر الحقيقة ، مع الإبقاء على أثر للنظرة النيوتونية - اللابلاسية .

ثم جاءت الهيولية لتلعب دورها . والأفكار الأساسية لمعالجة الهيولية كانت موجودة بالفعل فى أعمال الرياضى الفرنسى هنرى بوانكاريه Henri Poincaré فى القرن الماضى، ولكن نظرية متكاملة لها لم تظهر الا فى الآونة الأخيرة ، خاصة فى العمليات المرتبطة بالحاسب الآلى .

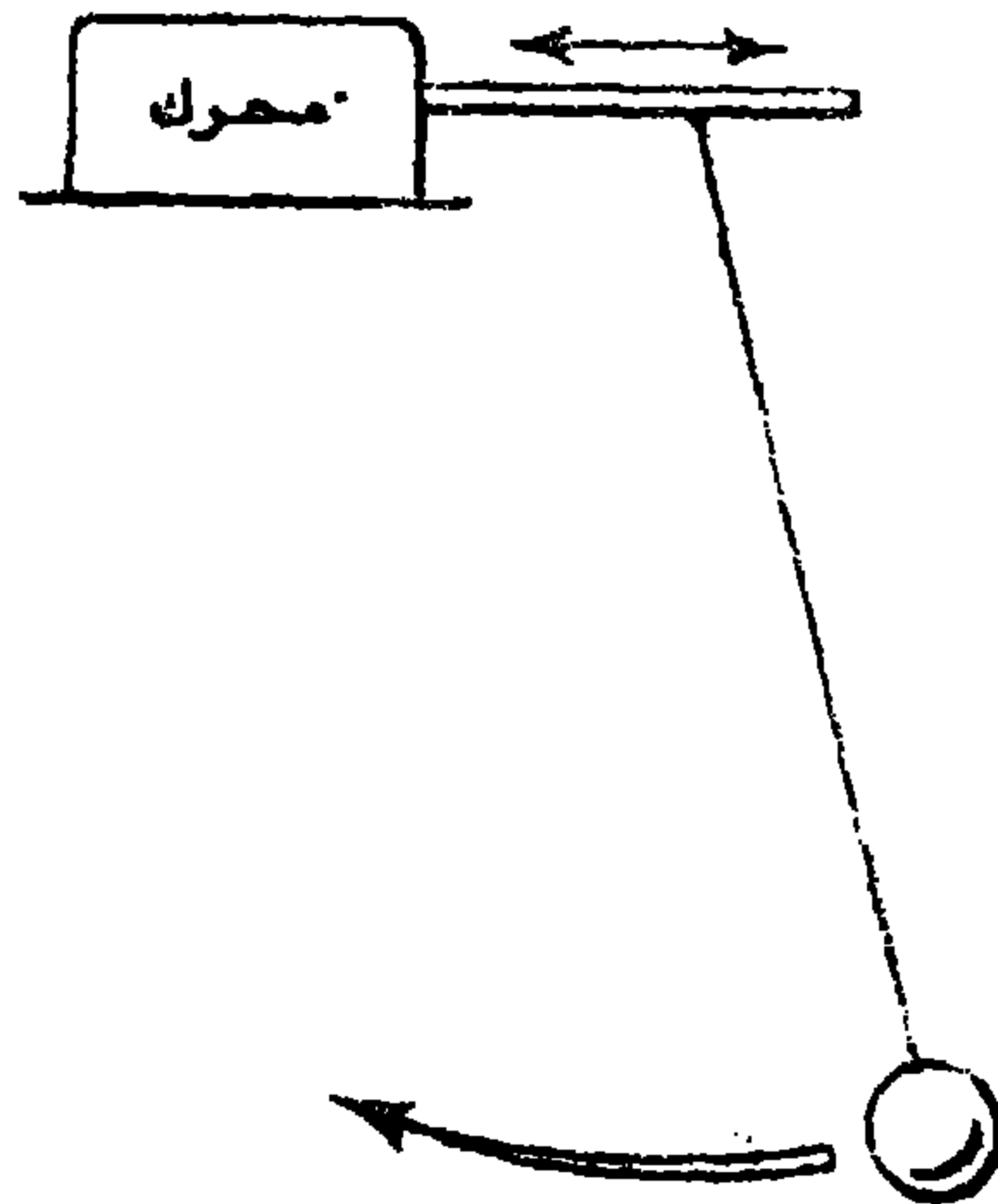
والخاصية الجوهرية للعمليات الهيولية بتطور « الخطأ المتنبأ به Predictive error » مع الزمن . ولبيان ذلك ، نبدأ بمثال غير عشوائى ، حركة البندول البسيط . تصور بندولين يتأرجحان فى تزامن ، ثم افترض أن أحدهما قد تعرض لقوة أخرجته عن هذا التزامن بدرجة بسيطة . هذا الفرق فى التزامن سيظل بسيطا مع مرور الزمن .

ولاجراء عملية التوقع لحركة البندول ، نقيس موضعه وسرعته فى لحظة معينة ، ثم نجرى حساباتنا طبقا لقوانين نيوتن للحركة . ولو وجد خطأ فى قياس الظروف المبدئية ، فان هذا الخطأ سيظهر أثره فى الحسابات التالية ، مؤثرا على النتائج المتنبأ بها ، والفرق بين تأرجح البندولين المشار اليهما هو بيان لمثل هذا الخطأ وهو يمارس تأثيره .

وفى النظم غير الهيولية nonchaotic systems النمطية ، تتراكم الأخطاء مع الزمن ، ولكن الأمر الحاسم هو أنها تتزايد بصورة متناسبة تقريبية مع سريان الزمن ، وعلى ذلك فهى تحت السيطرة نسبيا .

والآن تصور سلوك نظام هيولى . ففى نظام كهذا ، يتضاعف أثر الخطأ المبدئى تضاعفا سريعا . والواقع ، ان العلامة المميزة للنظم الهيولية هى ان الخطأ فيها يتضاعف بصورة « أسية  $exponentially$  » ، فبدلا من أن يكون الخطأ فى لحظة مساويا تقريبا لقيمته فى اللحظة السابقة ، قد تكون قيمته فى لحظة مساوية لتراكم كافة الأخطاء فى اللحظات السابقة منذ بدء العملية . وبعد فترة وجيزة ، يصبح الخطأ هو المسيطر تماما على العملية ، وتضيق بالتالى أية قدرة تنبئية . وعلى ذلك فان خطأ صغيرا فى البداية سرعان ما يتضخم الى درجة تعصف بالنظام .

ويبدو التميز بين النظامين واضحا فى تصور سلوك بندول كروى ، وهو البندول الحر الحركة فى أى اتجاه . وفى الحياة العملية يمكن أن يأخذ صورة كرة معلقة بخيط ، كما هو مبين فى الشكل (١) . فاذا ما تعرضت نقطة التعليق لحركة اهتزازية منتظمة فى الاتجاه الأفقى ،



الشكل (١) ، يمكن لبندول كروى بسيط ان يظهر خواص هيولية ، فحين تتذبذب نهاية الخيط ، ستأرجح الكرة ، ويمكن ان تستقر علىذبذبة معينة ، ولكن فى غيرها تكون الحركة عشوائية بقدر كبير .

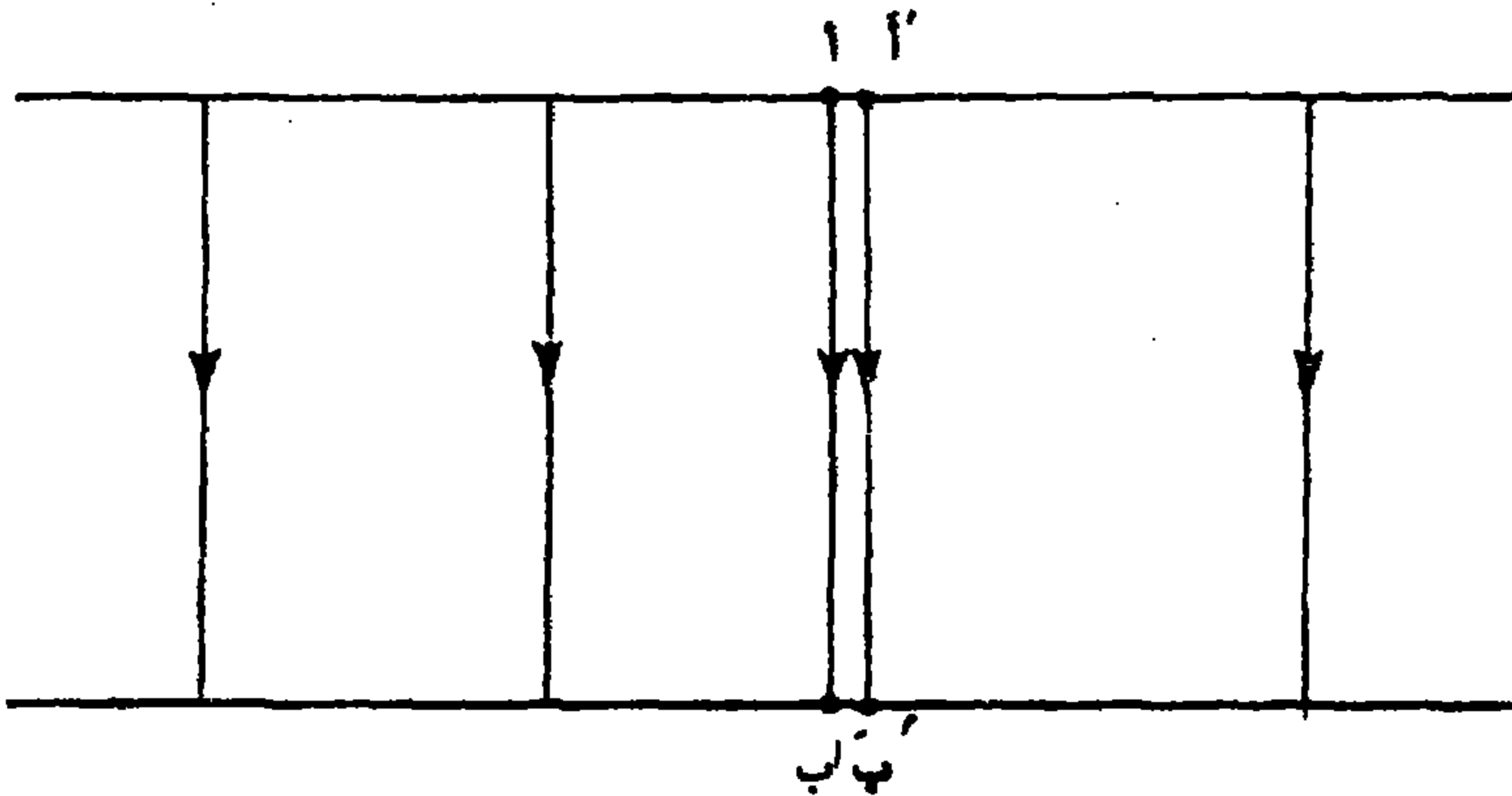
فأن الكرة تبدأ فى التآرجح . وبعد فترة قد تستقر فى حركة منتظمة ترسم فيها الكرة مسارا شبه اهليلجى ذا دورة تساوى تردد القوة المحركة . ولكن اذا ما تغيرت القوة المحركة تغييرا طفيفا ، فان هذه الحركة المنتظمة تتحول الى حركة هيولية ، تدور بها الكرة فى اتجاه مرة ، وفى الاتجاه المضاد مرة أخرى ، وهكذا بلا ضابط معين .

وعدم الانضباط هنا ليس صورة من العشوائية التى صادفناها فى حالة الحركة البراونية ، فهو ليس نابعا من آلاف التفاعلات على المستوى الجزيئى ، أو ما يسميه الفيزيقيون « درجات الحرية » degrees of freedom ، فالنظام المعروض يمكن وصفه رياضيا بثلاث درجات للحرية ، بمعنى أنه نظام محدد تماما ، ولكن حركة البندول هى غير المنضبطة . وقد كان يربط دائما بين التحديد والقدرة على التنبؤ ، ويثبت مثال البندول هذا أن هذا الترابط ليس صحيحا على اطلاقه .

فالنظام قطعى التحديد deterministic system هو الذى يحدد مستقبله بناء على قانون منضبط ، بمعرفة ظروفه الابتدائية . أسقط كرة ما ، وسوف تكون سرعتها عند المواضع المختلفة وفى الأزمنة المختلفة محددة تماما بموضعها وسرعتها الابتدائية عند لحظة الاسقاط . وعلى ذلك فلدينا علاقة « واحد الى واحد » بين الحالات الأولية والنهائية ، وبلغة الحواسب ، يفترض ذلك أن لدينا علاقة « واحد الى واحد » بين « المدخلات inputs » و « المخرجات outputs » عند حساب التنبؤ . ولكن لا يجب أن ننسى أن الحوسبة التنبئية تتضمن دائما شيئا من أخطاء أولية فى المدخلات ، ذلك لأنه ليس بإمكاننا قياس القيم الفيزيكية بدقة لانهائية .

ويمكن التمييز بين النظم الهيولية وغير الهيولية من خلال المقارنة بين شكلين هندسيين ، كما هو مبين فى الشكل ( ٢ ) . فالنقاط فى الخط الأفقى الأعلى تمثل الأوضاع الابتدائية لنظام غير هيولى ( مثلا : وضع كرة على وشك الاسقاط ) . والتحديد يعنى أن هناك علاقة واحد الى واحد

بين نقاط الخط الأعلى والأسفل ، ممثلة بالخطوط الرأسية . فكل حالة نهائية ( كل نقطة على الخط السفلي ) تصل اليها من حالة ابتدائية واحدة ( نقطة وحيدة على الخط العلوي ) . فاذا كنا جاهلين بدرجة بسطة بالحالة الابتدائية ، فان ذلك سيترجم الى جهل بسيط في الحالة النهائية ، ويمثل هذا على الشكل بنقطة قريبة جدا من الأخرى على الخط العلوي ( الفرق بين نقطتين أ و أ' ) ، تقابلها نقطة قريبة جدا من الأخرى على الخط السفلي ( الفرق بين النقطتين ب ، ب' ) . وبمعنى آخر ، فان الأطا البسيط في الظروف الابتدائية يترتب عليه خطأ بسيط في النتيجة .

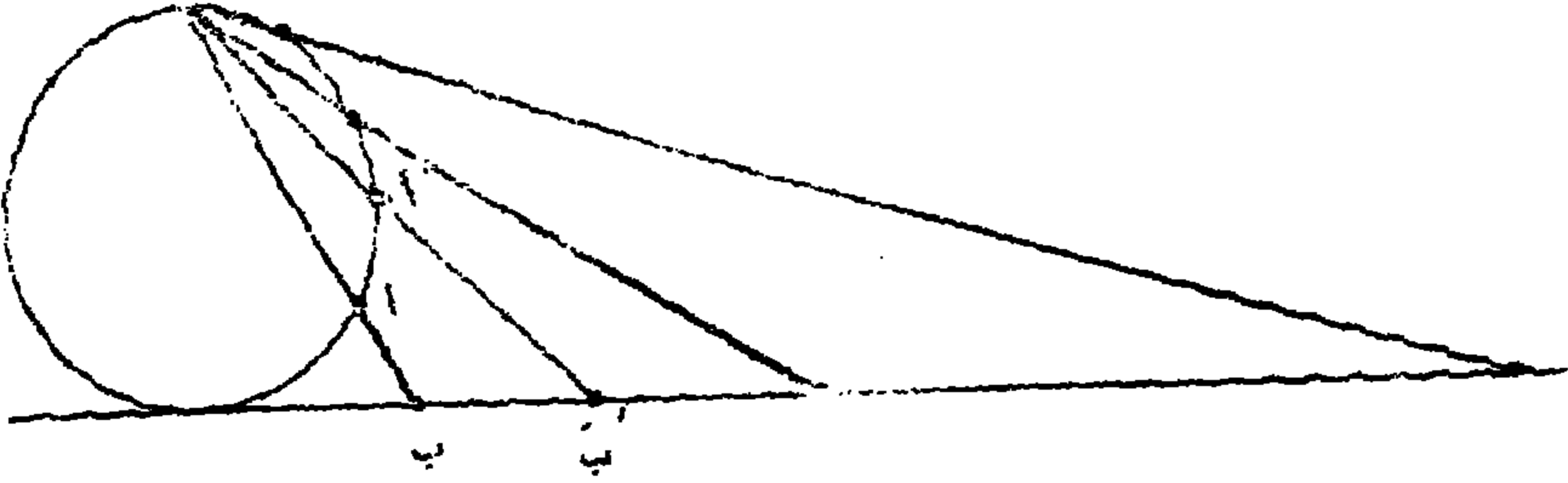


الشكل (٢) : يمكن تصوير الحتمية عن طريق هذا المثال الهندسي البسيط ، كل نقطة على الخط الأعلى مرتبطة بنقطة واحدة فقط على الخط الأسفل ، وينتج عن خطأ بسيط في تحديد النقطة العلوية خطأ بسيط بنفس القدر في تحديد النقطة السفلية . فاذا عبرت النقاط في الخط العلوي عن الحالات الابتدائية ، والسفلي عن الحالات النهائية ، فان مثل هذا يمثل القدرة على التنبؤ .

أما النظم الهولوية ، فيمثلها الشكل ( ٣ ) . هنا تمثل الظروف الابتدائية بنقاط على محيط دائرة ، والنتائج النهائية على الخط الأفقي . هنا أيضا لدينا علاقة واحد الى واحد بين مجموعتي النقاط ، فمن معرفة نقطة ما يمكن معرفة النقطة المقابلة في المجموعة الأخرى . ولكن خطوط الربط هنا تأخذ شكلا مروحيا ، بحيث انه كلما اقتربنا من قمة المنحنى ، كان التباعد بين النقاط على الخط الأفقي أكبر . وعلى ذلك فأي تغيير



ضئيل فى نقاط المجموعة الأولى سىترتب عليه تغيير جسيم فى المجموعة الثانية ، وعلى ذلك فان جهلا بسيطا فى الظروف الابتدائية تترتب عليه درجة كبيرة من الشك فى تحديد الظروف النهائية . هذا الوضع يمثل الهولبية ، حيث يكون النظام حساسا بدرجة فائقة للظروف الابتدائية .

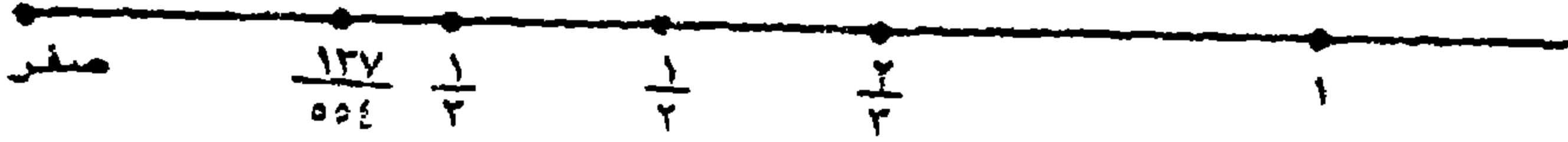


الشكل (٢) : يمثل هذا الشكل وضعا متناقضا مع ما صور فى الشكل (٢) ، حيث يترتب على خطا بسيط فى تحديد نقطة على محيط الدائرة خطا جسيما فى تحديد النقطة المقابلة على الخط الأفقى ، وتزداد هذه الحساسية للخطا كلما اقتربنا من قمة الدائرة ، رغم وضوح العلاقة نظريا ، فان التنبؤ صعب ، وهو ما يمثل النظم الهولبية .

هذه الحساسية ليست مجرد نتيجة لقصور بشرى من حيث دقة القياس ، أو دقة رسم الخطوط ، فالمفهوم الرياضى للخط هو ضرب من التصوير الخيالى ، يقرب الواقع . فعدم اليقين هو الحق ، والخط الهندسى هو الخيال . ولنسا أن نرى هذا واضحا من تعريف الخط هندسيا لدى قدماء الاغريق .

فهم قد أدركوا أنه بإمكاننا أن نضع أرقاما على الخط تمثل بعد كل نقطة عن نهايته ، كما هو مبين فى الشكل ( ٤ ) بالنسبة لجزء الخط من نقطة الصفر والنقطة رقم واحد . وتعطى النقاط بينهما أعدادا كسرية مكونة من رقم صحيح فى البسط وآخر مثله فى المقام ، وقد أطلق الاغريق على هذه الأرقام « rational » ( منطقية ، وهى الكسور المنتهية ) من الجذر « ratio » . وضع أى عدد فى البسط وآخر فى المقام فيمكنك الوصول للنقطة المقابلة له . ومع ذلك ، فالرياضيون يمكنهم الاثبات بسهولة أنه ليست كافة النقاط على جزء متصل من الخط يمكن أن تعطى كسورا منتهية ، فبين كل نقطتين ممثلتين بهذا الشكل ، بإمكانك أن تجد نقاطا

منوسطة ، لا يمكن التعبير عنها بكسر منته ، بل يعبر عنها بكسر عشري  
بذى عدد غير منته من الأرقام ، ومثل هذه النقاط يمكنك أن تكون قريبا  
منها بدرجات متفاوتة من الدقة ، ولكن لا يمكن تحديدها بالضبط .



الشكل (٤) : يمكن أن تمثل النقاط على الخط أرقاما بين الصفر والواحد الصحيح ،  
وعدد النقاط لا نهائى على هذا الخط ، ولكن تحديد موضع نقطة تحديدا قاطعا أمر غير  
ممكن عمليا ، حيث يتطلب الأمر عددا لا نهائيا من الأعداد الكسرية للتعبير عن الموضع .

ومجموعة الكسور المنتهية وغير المنتهية يطلق عليها معا مجموعة  
الأعداد الحقيقية ، ومنها بالطبع ما يمكن التعبير عنه بصورة موجزة ،  
مثل ٥ر٠ أو ١/٣ ، ولكن الرقم الحقيقى فى صورته النمطية لا يمكن  
التعبير عنه الا بعدد لانهائى من الأرقام ككسور عشرية لا تحمل تتابعا  
ذا نظام معين ، بل هو تتابع عشوائى random ، ومعنى ذلك أن التعبير  
عن عدد واحد من هذه الأعداد يتطلب قدرا لانهائيا من المعلومات ، وهو  
أمر مستحيل حتى من ناحية المبدأ . وعلى ذلك فأقوى حاسوب متصور ،  
لا يمكنه تذكر عدد حقيقى واحد بالدقة اللانهائية . وعلى ذلك ، فإن التعبير  
عن الخط الهندسى كمتصل من الأعداد الحقيقية يظل خيالا رياضيا  
محضاً .

ما أثر ذلك على العمليات الهيولية ؟ ان التحديد المطلق يعنى  
ضمنا أن التنبؤ يجرى فى ظروف مثالية من الدقة اللانهائية ، ففى حالة  
البندول ، يتطلب تحديد حركته معرفة الوضع الابتدائى له ، وذلك بقياس  
بعده عن نقطة مرجعية معينة ، ويتطلب ذلك التعبير عن المسافة المقيسة  
بعدد حقيقى ، وهو ما يستحيل عمله بدقة لانهائية كما بينا .

وفى النظم غير الهيولية ليس هذا القصور بذى أهمية بالغة ، حيث  
ان الأخطاء تتراكم بطيئا . أما فى النظم الهيولية ، فالأمر أخطر من ذلك .  
نفترض أن درجة الدقة كانت خطأ فى الرقم العشرى الخامس ، ونحن

نقدر حركته في فترة زمنية « ت » ، لو زدنا درجة الدقة الى الرقم العشري العاشر حتى نرفع من درجة اليقين في الفترة المذكورة ، فان التزايد الاسي قد يعيدنا الى نفس درجة الخطأ في فترة زمنية « ٢ ت » مثلاً . ومعنى ذلك أننا زدنا من الدقة بمقدار ١٠٠٠٠٠ مرة لنزيد من اليقين لفترة لا تزيد عن الضعف .

ان هذه الحساسية للظروف الأولية هي التي أدت الى المقولة المشهورة ، بأن رفرفة فراشة لأجنحتها في ملبورن اليوم تؤثر على الطقس في لندن بعد أسبوع . فحيث ان الطقس في الكرة الأرضية نظام هولي ، وانه لا يوجد نظام من ناحية المبدأ يمكن وصفه بدقة كاملة ، فان التنبؤ بالطقس على المدى البعيد لا يمكن تحقيقه ، مثله في ذلك مثل أى نظام هولي آخر . ولا نفتأ نؤكد أنه لا علاقة في ذلك بالقصور البشري ، فالكون ذاته لا يعلم ما يفعله بدقة مطلقة ، ومن ثم لا يمكن التنبؤ بما سيحدث مستقبلاً بتفاصيل كاملة ، فهناك أشياء تجري بالفعل بصورة عشوائية .

ومن الواضح أن الهولبية تعطينا برزخاً بين قوانين الفيزياء وقوانين الصدفة . فمن وجهة نظر معينة يمكن ارجاع الصدفة أو العشوائية للنقص في التفاصيل . لكن بينما تبدو الحركة البراونية عشوائية بسبب العدد الم هول من درجات الحرية التي تضطربنا للتجاوز عنها ، فان الهولبية التحديدية تبدو عشوائية بسبب كوننا بالضرورة غافلين عن التفاصيل الغاية في الدقة لدرجات من الحرية قليلة العدد . وعلى هذا يكون الكون ذاته . وبينما الحركة البراونية معقدة لأن التصادم مع الجزيئات هو في حد ذاته عملية معقدة ، فان حركة البندول معقدة حتى وان كان النظام ذاته بسيطاً للغاية . وعلى ذلك فالمسلك المعقد لا يعنى بالضرورة تعقد القوانين الحاكمة أو القوى المؤثرة . فدراسات الهولبية أوجدت توافقاً بين تعقد العالم الفيزيائي حين يظهر تصرفات شاذة وعشوائية ، وبين النظام والبساطة التي تتميز بها قوانين الطبيعة .

ورغم أن الهيولية التحديدية هي مفاجأة لنا ، فانه يجب ألا ننسى أن الطبيعة ليست في الواقع تحديدية بأى شكل من الأشكال . فعدم اليقين المصاحب للتأثيرات الكمية يتدخل فى ديناميكية كافة النظم ، هيولية أو غير هيولية ، على المستوى الذرى . وقد يفترض أن عدم اليقين سوف يترابط مع الهيولية ليضاعف من عدم القدرة على التنبؤ الكونى . ولكن الأمر المستغرب هو أن التأثيرات الكمية يبدو أن لها تأثيرا مخففا من الهيولية . فبعض النظم التى تبدو هيولية عند مستوى النيوتونية الكلاسيكية ، قد وجد أنها أصبحت غير هيولية حينما أعطيت خواص كمية . وعند هذه النقطة ينقسم الخبراء حول امكانية وجود نظم هيولية كمية ، وماهى علاماتها ان كان لها وجود . ورغم أهمية الموضوع بالنسبة لفيزياء الذرية والجزيئية ، فانه قليل الأثر على المستوى المرئى ، ناهيك عن الكون بأسره .

ما الذى نستخلصه من الصورة النيوتونية - اللابلاسية للكون كساعة منضبطة ؟ ان العالم الفيزيقي يحتوى على العديد من النظم الهيولية وغير الهيولية . فالطقس بطبيعته ، كما قدمنا ، لا يمكن التنبؤ به الى أقل التفاصيل ، ولكن تتابع الفصول منضبط كالساعة بالفعل . فتلك النظم التى تتصف بالهيولية غير خاضعة للتنبؤ بصورة كبيرة ، وان نظاما واحدا منها ليستهلك قدرة الكون كله فى حساب مسلكه . والبادئ اذن أن الكون غير قادر على حساب المستقبل لجزء ضئيل منه ، فما بالك به بأكمله ؟

وما من شك فى أن هناك استخلاصا رائعا . ان هذا يعنى أنه حتى لو تقبلنا وصف الكون على أنه محدد تحديدا قاطعا ، فان مستقبله من وجهة نظر معينة يكون « منفتحا » . ولقد اعتمد البعض على هذه الانفتاحية ليؤكد الحرية الشخصية للانسان . ويدعى البعض الآخر بأنها تسبغ على الطبيعة عنصرا من الابداع ، من المقدرة على توليد ما هو مستحدث بمعنى الكلمة ، شئ لم يكن متضمنا فى الحالات السابقة للكون . ومهما كانت قيمة هذا الادعاء ، فانه من الأحوط أن نستخلص من دراسة الهيولية أن

مستقبل الكون ليس محددًا تحديدًا قاطعًا • وباستخدام عبارة بريجوجين،  
ان الفصل الأخير للكون العظيم لم يحن موعد كتابته بعد •

### استيعاب التعقيد

ان النجاح المذهل لبساطة المبادئ والقواعد الرياضية في تفسيرها  
لأجزاء كبيرة من الطبيعة هو شيء غير ملموس في المعاشة اليومية ، كما  
لم يكن واضحًا لأجدادنا أن العالم يسير على مثل هذه الخطوط البسيطة •  
ففي النظرة العابرة تبدو الطبيعة معقدة وغير مفهومة بالمرّة • فالقليل من  
الظواهر الطبيعية هي التي تنم صراحة عن دقة بالغة تشير الى النظام  
المستتر • وحين يبدو اطراد أو تناغم ، فانه يكون عادة على صورة من  
التقريب • ويؤكد الواقع أنه لقرون عدة فشل قدماء الاغريق ومفكرو  
القرون الوسطى في التعرف الا على النزر اليسير ( كتتابع الليل والنهار  
مثلا ) من النظام الرياضى فى الطبيعة •

ويمكن توضيح الموقف بضرب مثال السقوط الحر للأجسام • فقد  
لاحظ جاليليو أن كل الأجسام تتسارع بنفس المعدل تحت تأثير جاذبية  
الأرض • ولم يكن أحد قد أدرك ذلك من قبل ، لأنه فى الحياة اليومية  
لا يبدو ذلك صحيحًا • فكلنا يعرف بداهة أن المطرقة تهبط أسرع من  
ريشة طير • وقد بدت عبقرية جاليليو فى ملاحظة أن الفرق هو أمر  
عارض ، ( فى حالتنا هذه بسبب مقاومة الهواء ) ، ودخيل على العامل  
الأساسى ( الجاذبية الأرضية ) • وبذلك استطاع أن يستخلص من التعقيد  
البادئ فى الحياة اليومية بساطة قانون مثالى للجاذبية •

وتأخذ أعمال جاليليو ونيوتن فى القرن السابع عشر عادة كمؤشر  
لبداية العلم الحديث • فنجاح العلم يرجع بصورة أساسية الى قوة  
التحليل الذى أجراه جاليليو ، المقدرة على عزل النظام الفيزيقي عن الكون  
المحيط ، والتركيز على الظاهرة محل البحث • وفى مثال السقط الحر  
قد يتطلب العزل مثلا اجراء التجربة فى الفراغ ، ولم يكن لأحد أتيح له  
مشاهدة مثل هذه التجربة الا أن يدهش حين نقلت سفينة الفضاء

« أبوللو » المطرقة والريشة بالفعل وأسقطتهما على سطح القمر الخالى من الهواء .

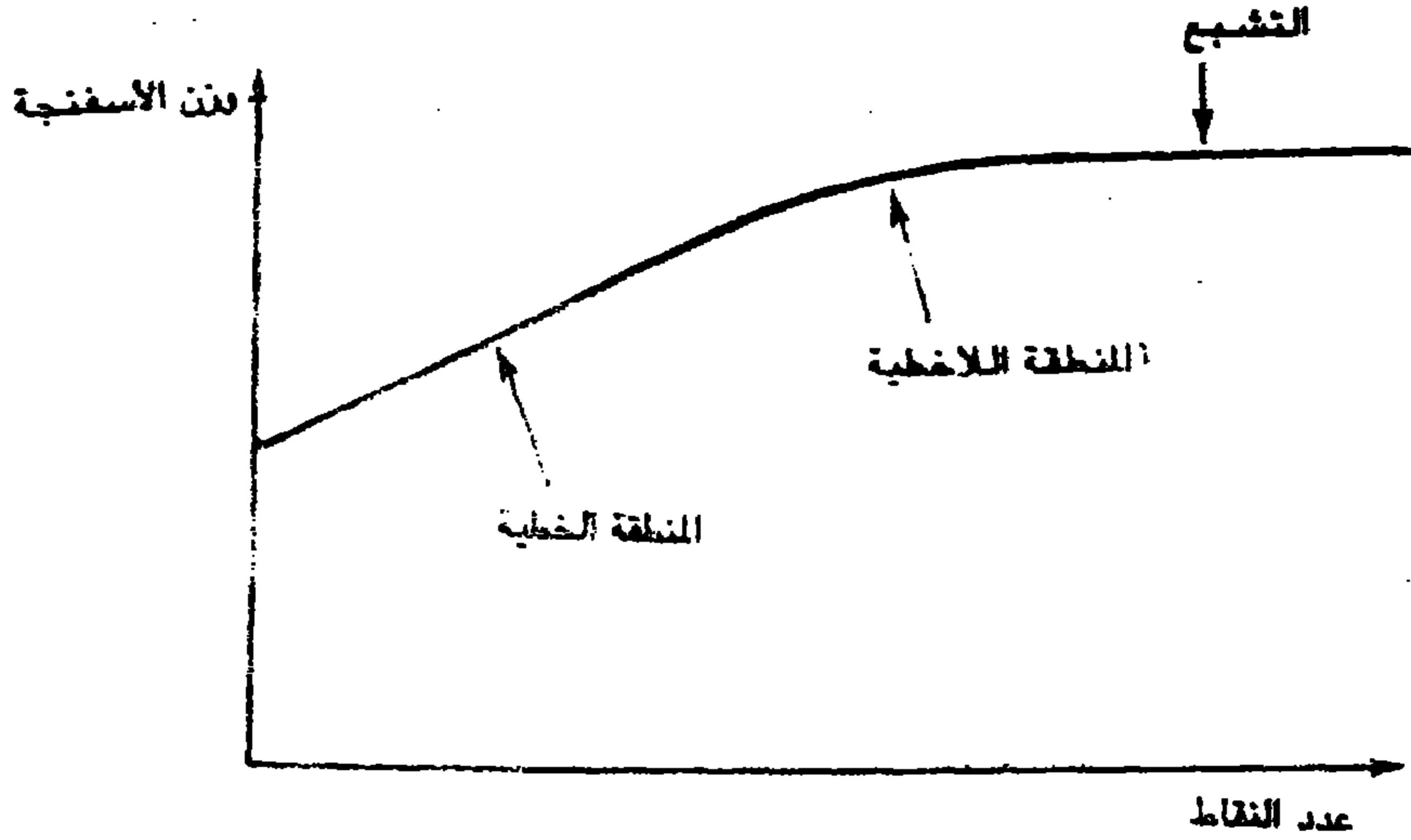
ولكن نجاح مثل هذا التحليل هو أمر فى حد ذاته محير ، فالعالم أولا وأخيرا هو كل متكامل ، فكيف يمكن فهم جزء منه دون فهم البقية ؟ نعم ، كيف يمكن لنا فهم الكثير ، دون فهم الكل ؟

لو أن الكون كان من قبيل « الكل أو لا شئ » ، لما كان هناك علم ولا فهم . فليس بإمكاننا أن نستوعب كافة قوانين الطبيعة فى قضية واحدة . ومع ذلك ، وعلى الرغم من الاعتقاد الشائع بين العلماء هذه الأيام أن كل القوانين سوف تتكامل فى كل واحد ، فإننا قادرون على التقدم خطوة تلو الأخرى ، واضعين أشلاء الصورة قطعة بعد قطعة ، دون أن نحتاج الى العلم مسبقا ، بشكلها النهائى . ولقد حدث ذلك خلال القرون الثلاثة والنصف الماضية من الكفاح العلمى ، وهو يحدث على المستوى الشخصى الآن ، مع كل من يعد ليكون عالما ، فيقضى خمس عشرة سنة من الدراسة . فلكى تكون عالما ، ليس عليك أن تتجرع كل العلم الحديث دفعة واحدة .

وأحد أسباب نجاح أسلوب الخطوة خطوة هو أن العديد من النظم الفيزيائية هى نظم خطية . والنظم الخطية ببساطة هى النظم التى فيها الكل يساوى مجموع الأجزاء ( لا أكثر ولا أقل ) ، والتأثير الكلى هو حاصل مجموع التأثيرات الجزئية .

والتميز بين النظم الخطية وغير الخطية يمكن تمثيله بمثال اسفنجة جافة تمتص الماء . فمع كل قطرة تمتصها يزداد وزنها ، هذه الزيادة تكون فى البداية طردية العلاقة ، اذا زاد عدد القطرات للضعف كانت الزيادة المقابلة للوزن هى الضعف . وهذه هى العلاقة الخطية . ولكن مع زيادة رطوبة الاسفنجة تبدأ فى التشبع بالماء ، وتقل مقدرتها على الامتصاص ، وتكون زيادة الوزن مع القطرات غير خطية ، أى تقل فى معدلها مع نفس الزيادة فى كمية الماء المتساقط عليها . وفى النهاية يثبت الوزن عند التشبع الكامل ، ويصبح غير معتمد على قطرات الماء ، لأن الماء

- الساقط سوف يقابله مقدار متساو تقريبا من الماء المتسرب من الاسفنجية .
- ويمثل الشكل ( ٥ ) هذه العلاقة .



الشكل (٥) : بالنسبة لاسفنجية جافة ، يتزايد وزنها طرديا مع الماء المتساقط عليها ، ويسير المنحنى المعبر عن العلاقة بين الوزن وعدد نقاط الماء في خط مستقيم صاعد ، وعندما تبدأ الاسفنجية في التشبع بالماء ، تقل قابليتها لامتصاصه ، فلا يزيد الوزن كثيرا مع عدد نقاط الماء ، وعند التشبع الكامل يثبت وزن الاسفنجية مهما تساقط الماء عليها ، ويأخذ الخط المعبر عن العلاقة وضعها القيا .

والنظم الخطية المعقدة ، كموجات الراديو حين تخلط بالموجات الصوتية (١) ، يمكن فصل مكوناتها ( في هذه الحالة الموجات المختلفة ) بحيث تعاد من أصلها دون أى تشويه ، فالشكل المعقد للموجة ما هو الا مجموعة من الموجات البسيطة المختلطة . وان مدلول عملية التحليل ذاتها يعتمد على الخاصية الخطية ، ففهم الأجزاء المنفصلة يؤدي الى فهم المجموع . هذه المقدرة على تحليل النظم الخطية دون افسادها ينعكس على الرياضيات التي تصف النظام . فالتحليل الرياضى الخطى يمكن تتبعه بسهولة، لأن التعبير الرياضى المعقد يمكن أن يحلل الى مجموعة من التعابير البسيطة .

ولقد أدى نجاح التحليل الخطى فى القرون السابقة الى اخفاء حقيقة أن النظم الواقعية تميل الى اللاخطية عند مستوى معين . وحين تكون اللاخطية مهمة ، لن يتاح التحليل ، لأن الكل سيكون أكبر من مجموع الأجزاء . والنظم الخطية يمكن أن تضم العديد من التصرفات المعقدة ، وأن تقوم بما هو غير متوقع ، كأن تتحول مثلا الى الهيولية . فبدون اللاخطية لن يكون هناك هيولية ، حيث لن يكون هناك أى حيود عن نماذج السلوك المفترضة ، وهو ما يعتمد عليه عدم اليقين فى الطبيعة .

وبصورة عامة ، يجب فهم النظام اللاخطى الى نهايته ، وهو ما يعنى عمليا الأخذ فى الاعتبار العديد من المحددات والشروط المحيطة والأوضاع الابتدائية . كل ذلك يؤخذ فى الاعتبار فى النظم الخطية أيضا ، ولكن بصفة عرضية . أما فى النظم غير الخطية فهى أساسية بصورة جذرية لفهم ما يجرى .

ولقد رأينا مثلا لذلك فى القسم السابق . فالعامل المحدد لكون حركة البندول هيولية أم لا متعلق بتردد القوة الخارجية وعلاقته بطول البندول ، فالنظام ككل يجب أن يؤخذ فى الحسبان قبل التنبؤ ببدء الهيولية . وهناك العديد من الأمثلة على ما يسمى « الطبيعة الكلية holistic character » للنظم غير خطية . ومن ذلك ظاهرة التنظيم الذاتى ، مثل المخلوطات الكيميائية التى تتخذ أشكالا أو تنبض بالوان فى شكل تعاونى . وما نريد أن نؤكد عليه هو أن فهم الفيزياء المحلية ( كالقوى بين الجزيئات ) قد يكون ضروريا لفهم ما يحدث ، ولكنه بالتأكيد غير كاف لتفسير الظاهرة تماما .

وتضفى اللاخطية على النظم مكنات لكى تفعل أشياء غير متوقعة ، وأحيانا كما لو كانت بها حياة . فهى قد تتصرف فى تعاون ، أو تتكيف ذاتيا مع البيئة ، أو ببساطة تعيد تنظيم نفسها فى كينونات متآزرة ذات هويات محددة . لقد أصبح البون شاسعا بيننا وبين المادة التى وصفها نيوتن بالخمول . وكتصوير لذلك نأخذ مثلا هو من أهم الأمثلة على تحرر المادة ، ألا وهو الموجات غير الخطية .



## موجات ذات ارادة حرة (٢)

فى عام ١٨٣٤ كان مهندس يدعى جون سكوت راسل John Scott Russell ، ممتطيا جواده بالقرب من أدنبره حينما سر بقارب يجره حصانان فى نهر ضحل . وتوقف القارب فجأة ، محدثا اضطرابا شديدا فى الماء . وكم كانت دهشة راسل حين وجد كمية من الماء ترتفع ثم - كما كتب عن الظاهرة التى أدهشته : « تتدحرج بسرعة بالغة على سطح الماء ، على شكل كومة تامة الاستدارة ، منطلقة دون تغيير فى شكلها أو سرعتها » . وانطلق راسل متتبعا هذه الظاهرة المائية العجيبة لمسافة ميلين ، الى أن فقدوها فى تعرجات النهر .

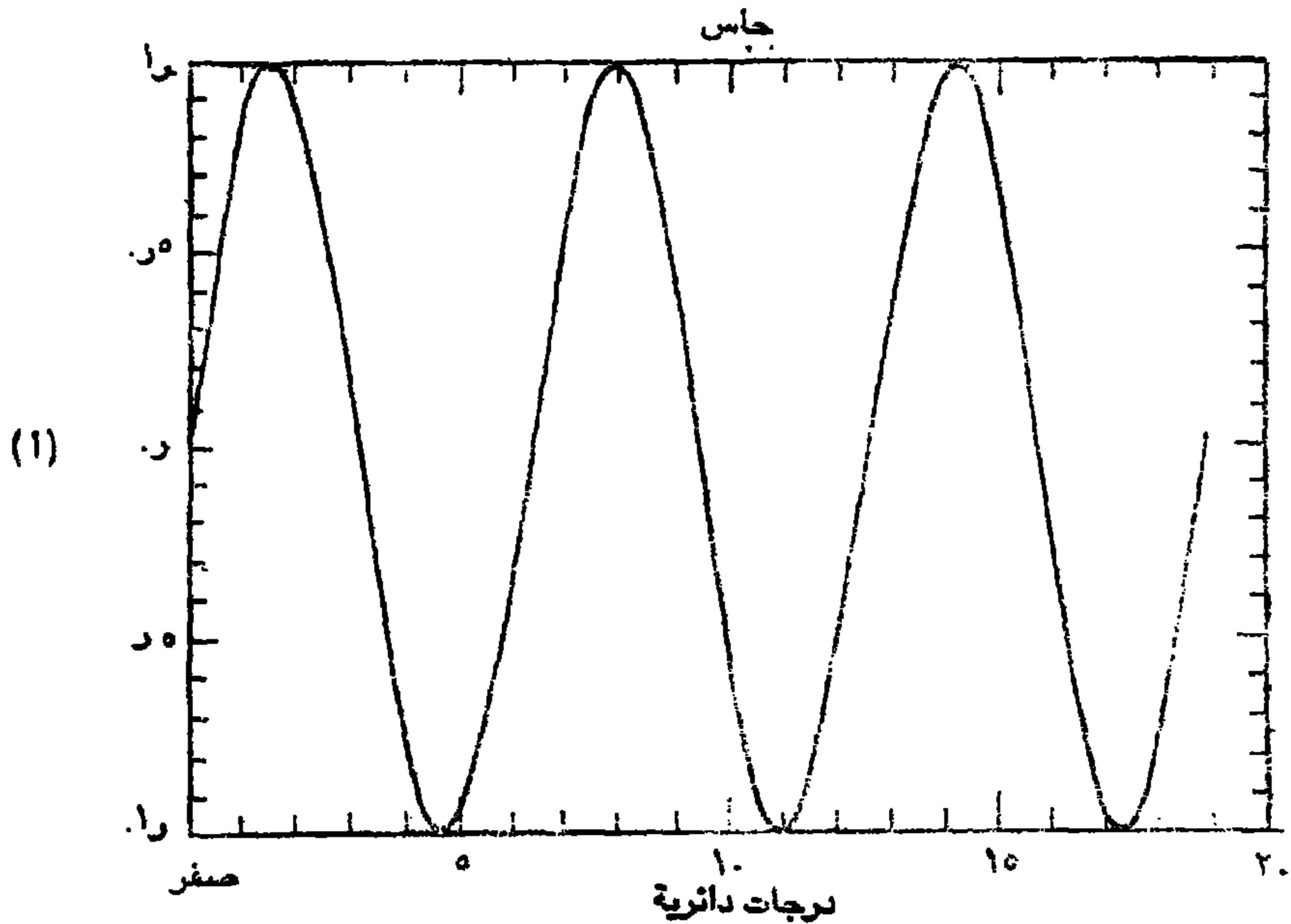
كلنا نعرف الموجات فى الماء ، ولكن ما شاهده راسل كان شيئا غير عادى تماما . فاذا ما أسقطنا حجرا فى بحيرة فان المويجات تنتشر على سطحها حتى تتلاشى تدريجيا . وعلى خلاف هذه المويجات التى هى تتابع من قمم وقيعان ، شاهد راسل « كومة » من الماء ، ذات قمة وحيدة ، تنطلق على سطح الماء محتفظة بكيانها . مثل هذه الموجة « الوحيدة » هى بلا جدال حادثة فريدة . وقد عاد راسل للموضع لدراسة الظاهرة ، وكتب عنها تقريرا الى الجمعية الملكية بأدنبرة .

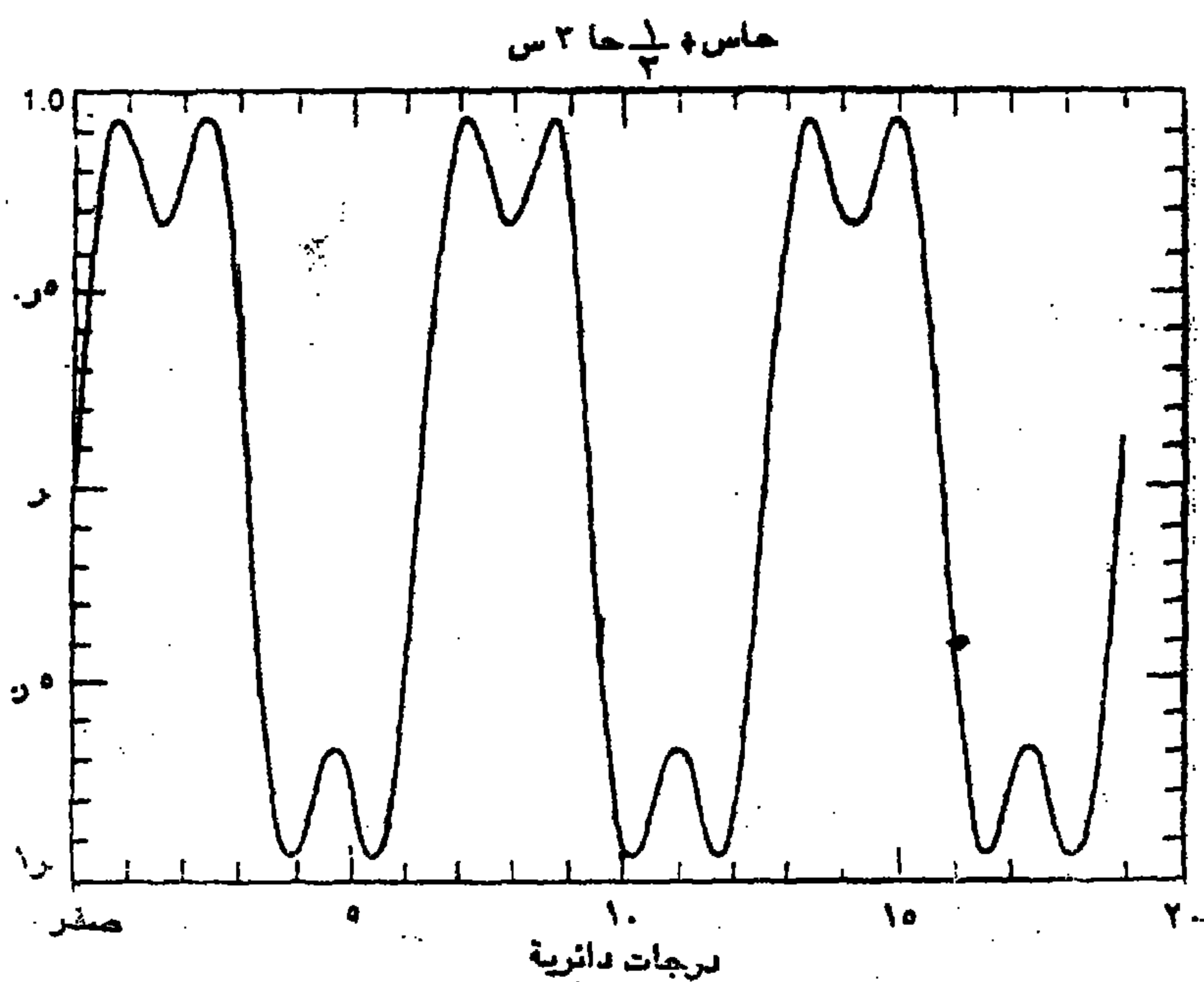
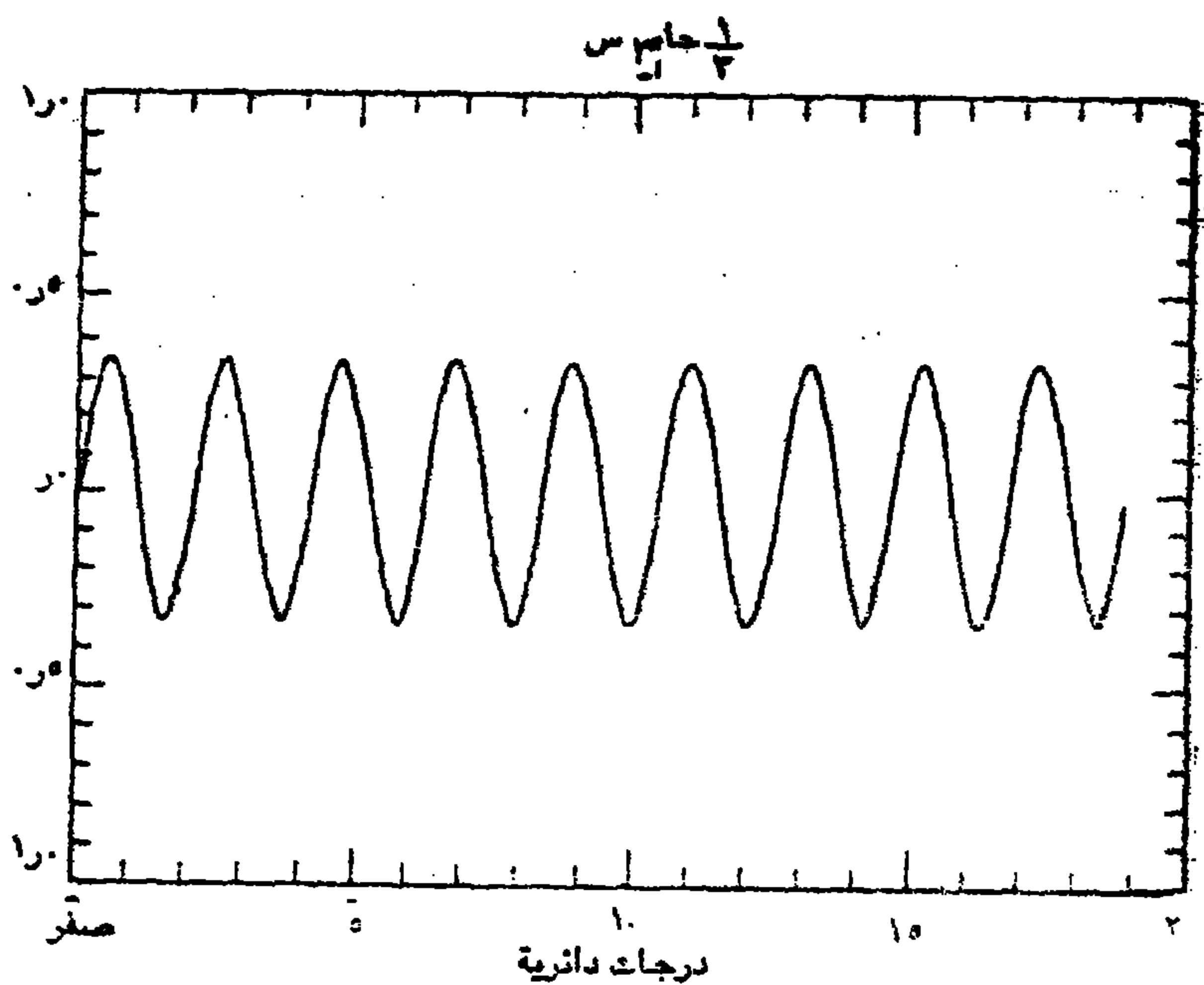
ولكن تفسيراً مقنعا لهذه الموجات الوحيدة لم يظهر الا عام ١٨٩٥ على يد عالين دانيماركيين هما كورتفيج D. J. Korteweg ، وهندريك دى فريز Hendrik de Vries . وتجد نظريتهم تطبيقات فى أفرع عديدة من العلم ، من الجسيمات الأولية الى البيولوجيا .

ولفهم النظرية ، من الضرورى أن نعرف شيئا عن الموجات العادية . فالاضطرابات المعتادة التى تحدث مثلا من القاء حجر فى بحيرة ساكنة ، هى سلسلة من التموجات مكونة فى الواقع من عدة موجات متراكبة ، ومختلفة فى السعة ( أقصى ارتفاع تصل اليه قمة الموجة ) وطول الموجة ( المسافة بين قمتين متتاليتين ) . ومن هذا الخليط من المويجات يكون الشكل النهائى للاضطراب .

ومع انتشار الموجات ، ولكون الموجات ذات الأطوال الأكبر تنتشر أسرع من قصيرة الأطوال ، فإن الاضطراب الكلي سرعان ما يندوى ، وهو ما يطلق عليه « التشتت dispersion » .

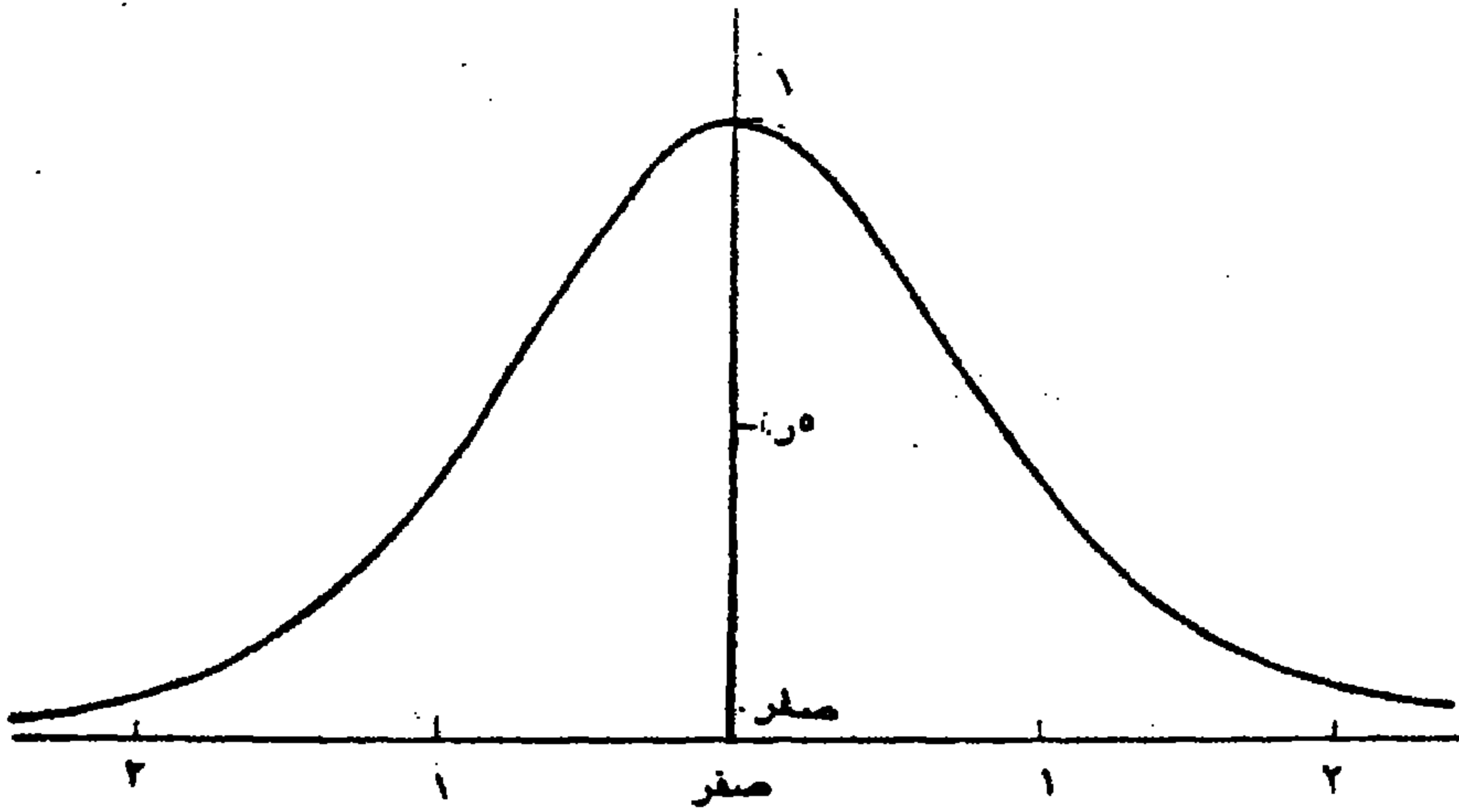
وحتى يمكن لموجة منفردة أن تتكون ، لابد من عامل يؤثر ضد التشتت ، هذا العامل الجديد هو مثال للاخطية . فالموجات المعتادة هي مثال للموجات الخطية ، طبقا للطريقة التي تتراكب بها ، والتي تجمع ساعاتها جمعا عاديا . ( الأشكال ٤ ، ٥ ، ٦ ) . ولتحقيق ذلك يجب أن تكون سرعة الانتشار ، وهي التي تعتمد بطبيعتها على طول الموجة ، غير معتمدة على السعة . ولقد بين بحث العالمين أن الموجات تكون خطية في حالة كون سعة الموجات قليلة بالنسبة لعمق الماء . فإذا كان الماء ضحلا ، فإن السرعة ستعتمد على كل من الطول والسعة في نفس الوقت .





الشكل (٦) : الموجات الخطية يمكن أن تتراكب بإضافة السعات معا عند كل نقطة . فالموجة ( ١ ) تتراكب مع الموجة (ب) لتنتج الموجة ( ج ) . أما الموجات غير الخطية فتراكبها يتم بصورة أكثر تعقيدا .

ويمكن في حالات الموجات الضحلة اللاخطية أن تتحقق حالة فريدة، تتراكب فيها الموجات ذوات السعات والأطوال المختلفة بالصورة اللازمة بالضبط لجعل تأثير غير خطية يعادل بالضبط تأثير التشتت . وتنتج الموجة المنفردة التي شاهدها راسل بالفعل ( الشكل ٧ ) . في هذه الحالة ستكون كافة الموجات المكونة للموجة الكلية منتشرة بنفس السرعة ، أما الموجات التي لا تفي بهذا الشرط فانها سرعان ما تتشتت .



الشكل (٧) : منحني « السولينتون » ، حل معادلة كورتيفيج ودي فريزر ، وهي الموجة وحيدة القمة التي شاهدها راسل . .

ووضع كورتيفيج ودي فريزر معادلة لوصف مثل هذه الموجات الفريدة، وبينت المعادلة أن سرعة انتشارها تزداد بزيادة ارتفاع قممها . ولم يكن لانجازهما هذا من قيمة سوى تفسير الظاهرة التي شاهدها راسل ، ولم يترك الموضوع بعد ذلك لسبعين عاما . ليس فقط لعدم أهمية الموضوع من الناحية العملية ، بل أيضا لصعوبة التعامل مع رياضيات اللاخطية .

الا أن التقدم في الحاسبات غير من المواقف ، حيث أمكن بمعاونتها إجراء الدراسات على الظواهر اللاخطية ، فصمم في الستينيات نموذج حاسوبي لتمثيل الموجات المنفردة واستكمال دراستها . وفي عام ١٩٦٥ قام مارتين كرسكال Martin Kruskal بدراسة تأثير تصادم موجتين منفردتين

مختلفتى القسم . وكان من المتوقع بالبديهة أن تدمر كل موجة الأخرى ، حيث أن تكون أى منهما يعتمد على توازن خرج كما أسلفنا . ولكن النتيجة كانت مفاجئة ، فقد خرجت كل موجة من التصادم سليمة لم تتأثر ، وواصلت انطلاقها بنفس سرعتها ، وبدا الأمر كما لو كانت كل موجة ذات كيان مستقل ، يمكنها به أن تتحدى الصعاب . وأطلق كرسكال على مثل هذه الموجات اسم « سوليتون » *soliton* ، وهى تسمية متأثرة بأسماء الجسيمات الأولية ، كالإلكترون والنيوترون ، والتي أيضا تمثل موجات ذات كيانات مستقلة .

وكان هذا الانجاز بمثابة شرارة انطلاق فى دراسات ظاهرة الموجات المنفردة ، فسرعان ما تكشف أنها تمثل نظاما فيزيقيا أوسع من مجرد موجات فى مياه ضحلة ، السمة الجوهرية له هى اللاخطية . فكلما كان النظام قريبا من اللاخطية ، زاد احتمال بعث موجات من الطاقة على هذا الشكل ، أو على الأقل شئ قريب الشبه به . وليس للوسط الذى تتكون فيه الموجات المنفردة علاقة بتكونها ، فقد تتكون فى الماء أو الغازات أو المجال الكهرومغناطيسى . وقد درست الظاهرة فى نظم متعددة منها البلورات ، والبلازما (٣) ، والألياف الضوئية ، والإلكترونيات .

ومن التطبيقات غير المتوقعة مجال البيولوجيا الجزيئية . فقد كان الجدل حاميا حول كيفية انتقال الطاقة المركزة عبر السلسلات البيولوجية الطويلة مثل البروتينات أو حمض ال D.N.A. ، حيث تلاحظ حدوث تأثيرات فى مناطق بعيدة تماما عن مصادر الطاقة . ويروى البعض أن ذلك لا يمكن أن يحدث من خلال التفاعلات الكيميائية ، ولكن الطاقة تنتقل عن طريق موجات منفردة داخل الهيكل الجزيئى .

والمجال الآخر للتطبيق هو الدراسات المتقدمة فى مجال التوصيل الفائق *superconductivity* ، خاصة عند درجات حرارة أكبر من الصفر المطلق ( - ٢٧٣ ° ) . فقريبا من هذه الدرجة تكون بعض المعادن فى حالة التوصيل الكهربى الفائق ، بسبب الطرائق التى يمكن فيها للإلكترونات

أن تتزاوج وأن تتحرك في تنظيم معين في غيبة « الضوضاء » الحرارية ، ولكنه لوحظ أن بعض الخزفيات ، وهي غير موصلة للكهرباء أصلا ، تتحول الى مواد فائقة التوصيل عند درجات أعلى من هذه الدرجة ، لدرجة أن البعض يتوقع امكانية حدوث ذلك عند درجات الحرارة المعتادة . وليس خافيا الأثر الخطير لذلك على تطور التكنولوجيا . ولكن كيف يمكن تفسير هذه الظاهرة ؟

رغم أن الفموض لا يزال محيطا بهذه الظاهرة للتوصيل الفائق ، إلا أن النظريات تتوقع أن تلعب ظاهرة الموجات المنفردة دورا أساسيا في هذا المجال . فقد شوهدت مثل هذه الموجات بالفعل في بعض الأجهزة الإلكترونية، مثل ما يسمى «وصلة جوزيفسون Josephson junction (٤)»، حيث تفصل مادة عازلة رقيقة بين جانبيين من مادة فائقة التوصيل . وفي هذا التشكيل يتلاحظ تدفق الطاقة الكهربائية في حزم مستقلة ، على صورة موجات منفردة من طاقة المجال المغناطيسي يطلق عليها « فلكسون fluxons » . تتحرك تحت ما يسمى « تأثير النفق tunnel effect » وهي ظاهرة مرتبطة بالفيزياء الكمية . ويأمل الباحثون أن تكون هذه الموجات هي التي تخزن المعلومات في الحاسبات الفائقة السرعة في المستقبل .

كما يتوقعون أن تفسر الموجات المنفردة ظاهرة التوصيل الفائق للمواد الخزفية في درجات الحرارة العالية . فبالإضافة للفلكسون ، هناك ما يطلق عليه « بولارون polaron » ، وهي موجة منفردة من الشحنة الكهربائية . فحينما يتحرك الكترون داخل بلورة ، فإنه يشوه قليلا من تكوينها البلوري ، بسبب تفاعل مجاله الكهربى مع الشحنات الكهربائية لذرات البلورة . وفي حالات التشوهات البسيطة ، فإن النظام يكون خطيا ، بمعنى أن القوى الناشئة عن التفاعل المذكور تكون متناسبة . ولكن هذه التشوهات قد تكون كبيرة في بعض المواد ، الأمر الذى يجعل حركة الإلكترونات ليست فى تناسب بسيط مع ما حولها من قوى ، وتظهر اللاخطية خطيرة الأثر ، فاتحة المجال لتكون الموجات المنفردة

المذكورة ، وهي التي يتوقع أن تكون تفسيراً لظاهرة التوضيل الفائق في المواد الخزفية .

### الى والالتواء

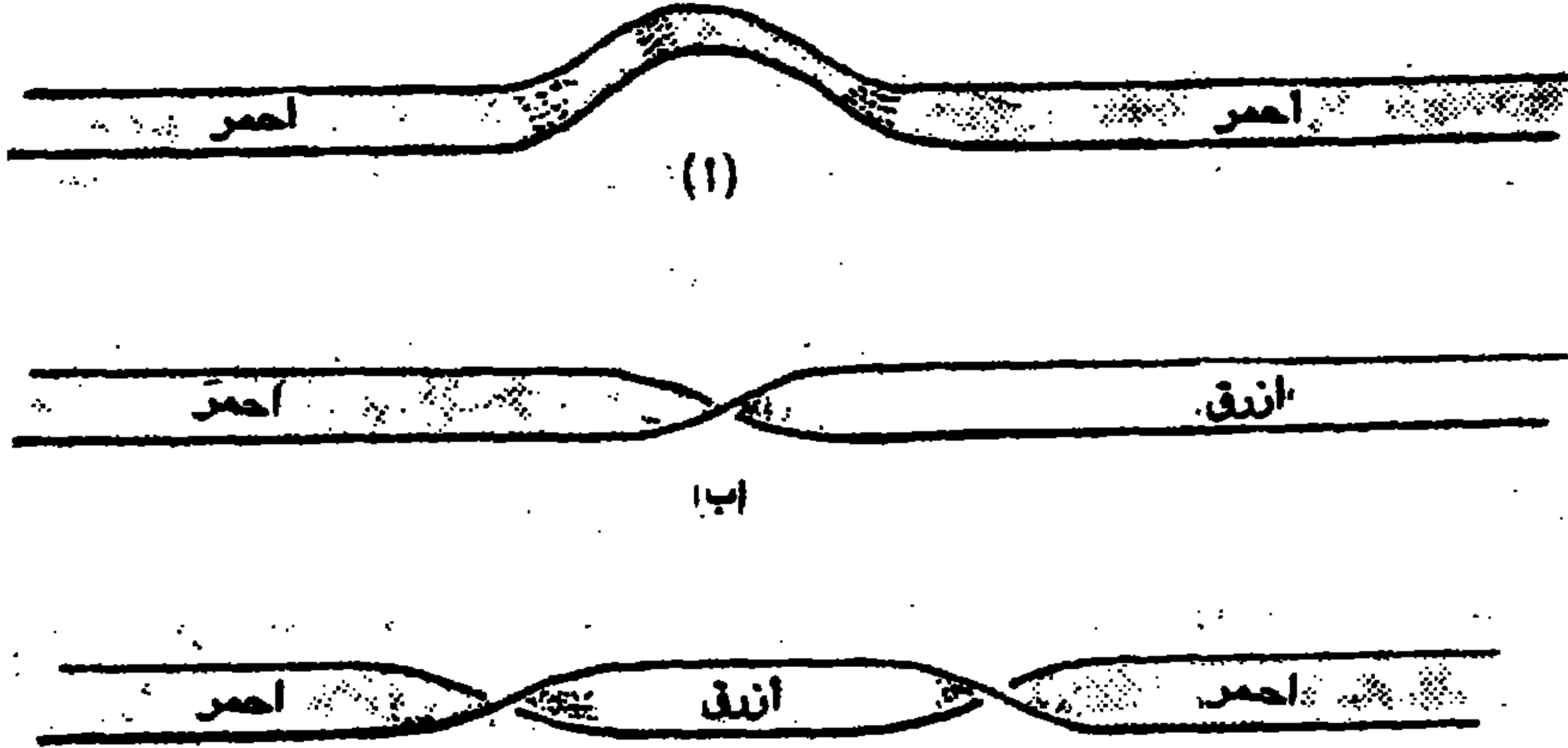
تتميز الموجات المنفردة بمقدرتها على البقاء ، الا انها تختلف في هذا المضمار ، فما تولد منها في الماء مثلا يمكن تدميره بوسيلة أو بأخرى ، كاحداث اضطراب في الماء . على أنه يوجد نوع من الموجات المنفردة وجد ليبقى ، فهو لا يقبل التدمير على الإطلاق .

ولفهم التمييز بين النوعين ، تخيل شريطا طويلا من مادة مرنة ، ملونا في أحد جوانبه باللون الأحمر ، والآخر باللون الأزرق . يمكن توليد طاقة من مثل هذا الشريط ، بما له من مرونة ، وذلك عن طريق مطه لأعلى ( الشكل ٨ - أ ) ، وتنتقل تلك الطاقة في شكل موجات عبر الشريط . فاذا ما كانت المرونة غير خطية ، أمكن توليد موجات منفردة تتركز فيها تلك الطاقة . هذه الموجات تكون قابلة للفناء ، حيث ان الشريط مآله العودة لشكله الأصلي .

الا أن توليد طاقة المرونة قد يكون بلي الشريط ، كما هو مبين ( بالشكل ٨ - ب ) . في هذه الحالة لن يمكن تدمير الموجة الحاملة للطاقة المركزة ، طالما أن الالتواء موجود . على أن هناك احتمالا أن تقابل هذه الموجة موجة مضادة ، تكونت من التواء في الاتجاه المضاد ( الشكل ٨ - ج ) ، وهنا تفنى الموجتان . ويمكن تشبيه الوضع بتلاقى جسيم مع مضاده ، حيث يفنيان ويطلقان ما بهما من طاقة .

ودراسة الالتواء هو فرع من العلوم يسمى « الطبولوجيا topology » وهو علم دراسة الأسطح عامة ، وما يمكن أن يجرى عليها من التواءات أو عقد ، أو وصل بعضها ببعض ، ان لم يكن في الواقع فعن طريق التمثيل . ومن مبادئ هذا العلم أن التشكيل السطحي لا يتأثر بمجرد المط أو الى ، اذ يظل السطح ، من وجهة نظره ، هو نفسه لم يتغير .

والطريقة الوحيدة لتغيير السطح هي بقصه ولصقه بسطح آخر . وفي حالة شريط لامتناهى الطول ( وهو فى الواقع شريط تكون الموجات المنفردة فى الأشرطة ) ، فلن يمكن فك عقده أو التواءاته ، وبالتالي فان موجة منفردة متولدة فيه ستظل باقية للأبد .



الشكل (٨) : مناطق الطاقة المتمركزة للمرونة « سوليتون » يمكن ان تنتج بطريقتين : من شريط مرن ، بالجذب لأعلى ، أو باللي . وهى فى الحالتين تنتشر فى الشريط ، ولكنها فى الحالة الأولى ( ١ ) قابلة للزوال ، بينما فى الحالة الثانية ( ب ) لا تختفى طالما اللي قائم ، ما لم تصادفها منطقة لى مضادة ( الحالة ٦ ) .

مثل هذه الموجات تظهر فى العديد من الأشكال ، فالموجات المنفردة المتكونة فى البلورات تظل باقية لا تقنى ، وكذا المتكونة فى حالة التوصيل الفائق ، وشيء من هذا القبيل يفسر ظاهرة الأوتار الفائقة ، وهى ما سنتناوله فى الفصل السادس .

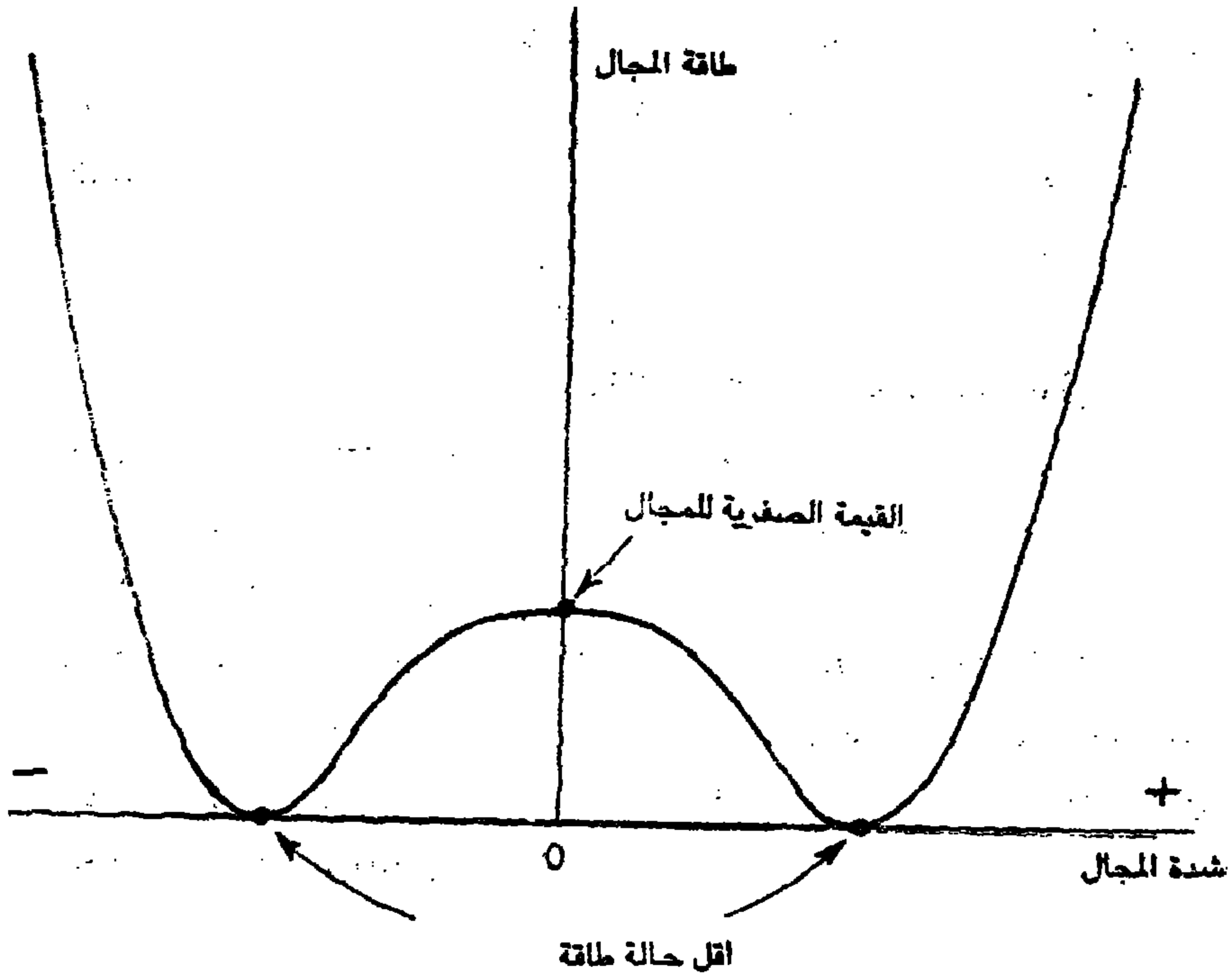
ولعل أكثر مجالات الموجات المنفردة الطوبولوجية هو مجال الجسيمات دون الذرية . هنا تظهر مثل هذه الموجات كاستثارة فى المجال ، وليس فى وسط مادي . فحينما يكون مجال فى أدنى مستوى من طاقته ، يكون منتظما . وتتولد الاستثارة حينما يخل بهذا الانتظام لسبب أو آخر . وفى حالة المجالات غير الخطية ، فان حالة الطاقة الأدنى قد لا تكون هى حالة المجال الصفرى ، أو بمعنى آخر ، فان أقل قيمة لطاقته تحدث فى حالة من حالات وجوده ، وليس حينما يكون صفرا . وسبب ذلك هو تأثير



المجال على نفسه ، بما يقلل من طاقته فى بعض حالاته . فى هذه الحالة يظل المجال منتظما ، ولكن لن تكون له قيمة صفرية .

وهناك حالة أخرى محتملة ، وهى وجود أكثر من قيمة للمجال ، بالضبط كما فى حالة الشريط الذى له وجهان ، ويقابل الوجهان هنا أن تكون للمجال قيمة موجبة وأخرى سالبة .

وبين الشكل ( ٩ ) توزيع الطاقة لمجال غير خطى نمطى . فعند النقطة الصفرية للمجال ، توجد طاقة تشبه قمة تل بين واديين . كل واد يقابل احدى القيم الدنيا لحالات الطاقة للمجال ، احدهما عند قيمة موجبة له والاخرى عند قيمة سالبة . فاذا كان المجال له قيمة موجبة



الشكل (٩) منحنى العلاقة بين الطاقة وشدة المجال لمجال غير خطى نمطى ينشأ فى حالات الجسيمات دون الذرية . فنقطة المجال الصفرية لا تكون الطاقة فيها صفرا ( قمة التل ) . كما توجد حالتان فى حالة المجال الصفرى ، واحدة موجبة والاخرى سالبة ، وتمثلان وجهى الشريط فى الشكل (٨) .

فى موضع من الفراغ ، وأخرى سالبة فى موضع مقابل ، فان قيمته يجب أن تساوى صفرا فيما بينهما ، وهنا لابد من وسيلة تركّز فيها طاقته الصفرية ، ويكون ذلك عن طريق موجة منفردة ، وهى تظل حبيسة بين الوادين ، ومن ثم لا تفنى ( إلا اذا صادفتها موجة منفردة مضادة طبعا ) .

والتماثل مع الشرائط ليس كاملا ، حيث ان الموجات تنتقل عبرها فى اتجاه واحد فقط . أما المجالات فهى ممتدة فى الأبعاد الثلاثة للفراغ . ودراسة تكون الموجات المنفردة فى هذه الأحوال غاية فى التعقيد ، ولكن المبدأ هو نفسه ، تتركّز الطاقة فى مثل هذه الموجات ، وتنتشر حبيسة التشكيلات الطبولوجية دون أن تفنى .

ويعتقد الكثيرون من المنظرين أن الموجات المنفردة يمكن أن تكشف عن نفسها على صورة جسيمات دون ذرية ، ذات خواص مثيرة وغريبة . وفى الواقع ، فان الجسيمات المألوفة لنا كالبروتون والنيوترون وغيرها يمكن أن تعتبر ، من وجهة نظر معينة ، كموجات منفردة لمجالات معينة . أما الموجات الجديدة فهى التى لها خواص مميزة . ومن قبيل ذلك ما اكتشفه ( رياضيا ) جيرارد تهوفت Gerard t'Hoft والكسندر بولييكوف Alexander Polykov عام ١٩٧٠ . كانا يدرسان نوعا جديدا من المجالات دون الذرية ، يظن أنه مسئول عن القوة النووية القوية (٥) ، فاكتشفا أن لهذا المجال أكثر من حالة للطاقة الدنيا ، يمكن بينها أن « يلتوى » المجال . وفى أحد هذه التشكيلات كانت الموجة المنفردة الحادثة أشبه بـ « شحنة » مغناطيسية منفردة . وكافة المغناطيسات المعروفة لها قطبان ، فوجب وسالب ، ولم تكشف الأبحاث بعد عن وجود مثل ذلك القطب المغناطيسى المنفرد .

وقد امتدت أبحاث الموجات المنفردة مؤخرا لتكون فى الأبعاد الأربعة ، بإدخال الزمن كعنصر فى وجودها ، بحيث تكون ذات وجود عابر . مثل هذه الموجات المنفردة اللحظية « instantons » كما أطلق عليها ، يمكن أن تلعب دورا خطيرا فى العالم دون الذرى ، وذلك لكونها تسمح بتحويلات

بين تشكيلات المجالات بصور لم يكن يظن أنه مسسوح بها من قبل . وفي عبارة عامة ، يمكن لمجال أن يتغير من تشكيلة الى أخرى بالى .

ان دراسة المواضيع المتعلقة بالخواص الطبولوجية ، لتجد مجالات فى العديد من أفرع العلم ، من البيولوجيا الى الفلك . ويعتقد حاليا أنه فى المرحلة المبكرة من عمر الكون ، مرحلة الانفجار العظيم ، كانت المجالات غير الخطية مسيطرة على العمليات الفيزيائية ، وقد تكون قد خلفت تشكيلات طبولوجية لا تزال باقية لليوم ، من ذلك الكينونات خطية الشكل التى أصبحت تعرف باسم الأوتار الفائقة ، التى سنعرض لها فى الفصل السادس .

ولقد تطورت أبحاث اللاخطية فى السنوات الأخيرة تطورا كبيرا ، بفضل الحاسبات فائقة السرعة . هذه الأبحاث المتزايدة للنظم غير الخطية تحول التركيز عن المادة الصماء الخامدة ، الى نظم ذات عناصر من العفوية والادهاش . ان القاموس الميكانيكى القديم للعلم يتلاشى ليفسح مجالا للغة أقرب للغة البيولوجيا منها للفيزياء . التكيف ، التأزر ، التنظيم ، النخ . وفى كثير من الحالات تظهر نفس الظاهرة فى نظم غير مادية بالرة ، كشبكات الحاسبات والنماذج الاقتصادية . وعلى ذلك فمع استنفاد التشبيه بالماكنة ، ذوت العلاقة بمادية نيوتن ، ومع التوسع فى الدراسات اللاخطية يتزايد معدل فناء النمط النيوتونى للتفكير ، كأساس لفهم الحقيقة .

ومع ذلك ، وعلى الرغم من هذه النكهة بعد - النيوتونية من التطور ، فان الكثير من الأبحاث اللاخطية تحتفظ بفكرة نيوتن عن الفراغ والزمن . ومع التركيز على دراسة النظم بدلا من الآلات ، فان النظم ينظر اليها كمحتلة لفراغ وزمن مطلقي . ولكننا نعرف منذ قرن تقريبا ان هذين العنصرين لمادية نيوتن يجب أن يتخلص منهما ، مما يستتبع نتائج لا تقل بهاء عما قدمناه .

## هوامش الفصل الثاني

(١) التعبير الفني لخلط الموجات « modulation » ، وتترجم في بعض الكتابات « التضمين » ، ولفصلها « اعادة التعديل demodulation » ، - المترجم -

(٢) لتابعة هذا القسم نعرض المصطلحات التالية :

موجة wave ، موجة ripple تموجات undulations ، اضطرابات disturbance ، تردد ( عدد الموجات في الثانية ، ووحداتها هيرتز ، أو مضاعفاته ، مثلا ميجاهيرتز ) frequency ، طول الموجة ( المسافة بين قمتين أو قاعين للموجة ) wave length ، سعة الموجة ( أقصى ارتفاع للموجة ) amplitude ، مقراكية superimposed - ( المترجم )

(٣) الذرات في حالتها المتأنية ، أي منزوع عنها الالكترونات ، وهي ما تسمى أحيانا بالصورة الرابعة للمادة - ( المترجم )

(٤) نسبة الى بريان دافيد جوزيفسون ، حاز على جائزة نوبل عام ١٩٧٢ - ( المترجم )

(٥) القوة المستولة عن ترابط البروتونات داخل الذرة ، أما القوة النووية الضعيفة فهي المستولة عن ظاهرة الاشعاع النووي - ( المترجم )

## الفصل الثالث

### الحاضر العجيب

علمنا أينشتاين أن المكان والزمان ليسا كما نحس بأحاسيسنا الفطرية . بداية ، يجب أن ينظر اليهما كواجهتين لكل أكبر ، ألا وهو الزمكان spacetime . ومن وجهة النظر الأكثر شمولية للنظرية النسبية، فمفاهيم كالطول والكتلة والفترة الزمنية يجب أن تأخذ منظورا أرحب مما هي عليه في الحقيقة الجامدة لحياتنا اليومية . حتى فكرة « التوافق simultaneity » ومفهوم « الآن » ، يأخذان خاصية مراوغة تجري على عكس ما ألفناه بقطرتنا . ان ما تأخذه النظرية النسبية بيد ، تعيده باليد الأخرى على صورة مفاهيم وثوابت أساسية أكثر حداثة .

#### حلبة الفضاء The arena of space

يعتبر أغلب الناس الفضاء قضية مسلما بها . انه جزء من خبراتنا اليومية لا يكاد يحتاج للتساؤل عنه ، فكيف يمكن للفضاء أن يكون خلاف ما تعودناه عليه ؟ ان الشك لا يبدأ في التسلسل لنا الا حين نواجه بسؤال من قبيل : هل هو ممتد الى ما لا نهاية ؟ هل وجد قبل وجود الكون ؟ عند هذه النقطة يثور سؤال آخر : من أين تولدت فينا تلك النظرة البديهية للفضاء بادیء ذي بدء ؟

يعود المؤرخون بمفهوم الفضاء كبديهية الى الاغريق ، حين ربط ربطا وثيقا بتطور الهندسة ، والتي حظيت بأكثر صور الصياغة انضباطا ، وازدهرت على يد اقليدس .

وحتى يضع علماء الهندسة نظرياتهم ، أدخلوا مفاهيم مثالية كالخطوط المتوازية ، عرفت على أنها تمتد الى ما لا نهاية دون أن تتلاقى . وكان وجود مثل هذه الخطوط مطلوباً لكي يمكن المنظرين من اثبات نظرياتهم ، وهي تتطلب ، ضمناً ، وجود « لا نهاية » يمكن للخطوط ، من الناحية النظرية ، أن تمتد إليها . وهذه الأفكار ليس منها ضرر ، طالما أنها ظلت في حيز التجريد . ولكن المشاكل تثور حين يبدأ التعرف على الفضاء بالمفهوم الفيزيقي ، أى في العالم الواقعي ، من خلال المفهوم الهندسي . وأول محاولة من هذا القبيل كانت على يد صاحب فكرة الذرة ، قبل زمن من وقت اقليدس - والذي - كما ذكرنا في الفصل الأول - ذهب الى أن الكون مكون من شينين لا ثالث لهما : الجسيمات غير القابلة للتجزئة ( الذرات ) ، والفراغ Void اللانهائي . ونظر الى الفراغ على أنه الساحة التي فيها تتحرك الذرات ، وتلعب فيها الدراما الخاصة بها . هذه الصورة قريبة جداً لنظرة الناس الفطرية للفضاء اليوم .

ودخلت فكرة الفراغ اللانهائي في تعارض مباشر مع علم الفلك الاغريقي ، والذي ذهب الى أن الكون محدود وكروي ، فيه الكرة الأرضية مركز لكرات تدور حولها . وكان السؤال حول ماذا يوجد خارج الكرة الخارجية محيراً للغاية . وحاول أرسطو ، في القرن الرابع قبل الميلاد ، تحاشي هذا السؤال بإدخال تعريف غريب للفضاء ، مؤكداً أن الكرة الخارجية ليست محتواة في أى شيء ، فهي تحتوى ، ولكنها غير محتواة ، باختصار ، لا يوجد لها خارج .

وكان مؤيدو فكرة الفراغ يواجهون دائماً بالأحجية التالية : لنفرض أننا رحلنا الى أبعد نقطة في الكون ، ثم مبددنا ذراعنا ، ( أو قذفنا برمح ، طبقاً للتعبير المفضل لدى الشاعر ليوكريطس ) ، ماذا سنلاقي ؟ أمزيد من الفراغ ؟ حائط صلد ؟ وماذا سيحدث للذراع ( أو الرمح ) ، هل ستندوى ؟ أم تتلاشى فجأة ؟

وظل التعارض مشتتاً لقرون ، الى عصر النهضة وبزوغ العلم الحديث . وتحت تأثير كوبرنيكس وجاليليو ونيوتن ، هجرت الفكرة القديمة عن الكرات المحدودة ، وأصبح مفهوم الفضاء اللامحدود المحتوى على النجوم والكواكب مقبولا . ولكن ظهرت عقبة جديدة ، فنيوتن تبنى

تصور الفضاء بما هو أكثر من المفهوم الهندسى ، حيث انه كان مهتما أساسا بالصيغ الرياضية لقوانين الحركة . ويتطلب هذا فراغا ذا خواص ميكانيكية أيضا .

### المكان المطلق وقوانين الحركة

من أقدم المسائل فى العلم والفلسفة التمييز بين الحركة المطلقة والنسبية . فمن التجارب المألوفة أنك تشعر بتحريك قطارك ، بينما فى الواقع الذى تحرك هو قطار مجاور ، تحرك ببطء فى اتجاه مضاد . أما لو كانت الحركة فجائية ، فان هذا الخطأ لن يحدث ، بسبب تأثير ذلك على الجسم . فالتغير فى السرعة اذن ، أو ما نسميه « العجلة » أو التسارع acceleration ، شئ خلاف السرعة المنتظمة .

وتتضمن قوانين نيوتن الشهيرة ما نسميه اليوم مبدأ النسبية (١) ، والذي اكتشف بواسطة جاليليو من قبل . ومن الأفضل توضيح المبدأ عن طريق مثال : تخيل أنك على متن طائرة تطير فى حركة ثابتة من حيث الاتجاه والسرعة والارتفاع . لن يحدث فى هذه الحالة أى احساس بالحركة بأى شكل من الأشكال . وستتم كافة الأنشطة ، كملء كوب من الشاي ، أو التجول داخل الممر ، بصورة طبيعية تماما . وتبعاً لتفسير جاليليو ونيوتن ، فذلك بسبب أن الحركة المنتظمة فى خط مستقيم هى حركة نسبية تماما ، بمعنى أنها لا اعتبار لها الا حين تنسب لشيء ما . وعلى ذلك ، فقولك ان جسما ما له سرعة كذا لا معنى له ، اذ يجب أن تحدد بالنسبة لى شئ قيست السرعة . فحينما نقول ان سيارتنا منطلقة بسرعة ثلاثين ميلا فى الساعة ، فان ما نقصده أن هذه السرعة منسوبة للطريق . ويبدو التمييز هاما اذا - لا قدر الله - اصطدمت السيارة بأخرى تسير بنفس السرعة ، وفى اتجاه مضاد . هنا تكون السرعة النسبية بين السيارتين ستين ميلا فى الساعة ، وليس ثلاثين . هذه هى السرعة التى يتسبب عنها الدمار الحاصل . وعلى ذلك فعلىنا أن نتخلى عن فكرة السرعة خلال الفضاء ، حيث لا توجد علامات مميزة ننسب اليها سرعة الأرض مثلا . فقياس سرعة الأرض يقتضى أن نحدد بالنسبة لى شئ تكون السرعة ، هل بالنسبة للقمر ، أم المريخ ، أم مركز المجرة ؟ كما أنه ليس لنا أن نتصور وجود جسم فى حالة سكون مطلق فى الفضاء .

فالقصاص الخيالية التي تبين أن العدو قد « توقف في الفضاء » تنتمي الى علم ما قبل عصر النهضة .

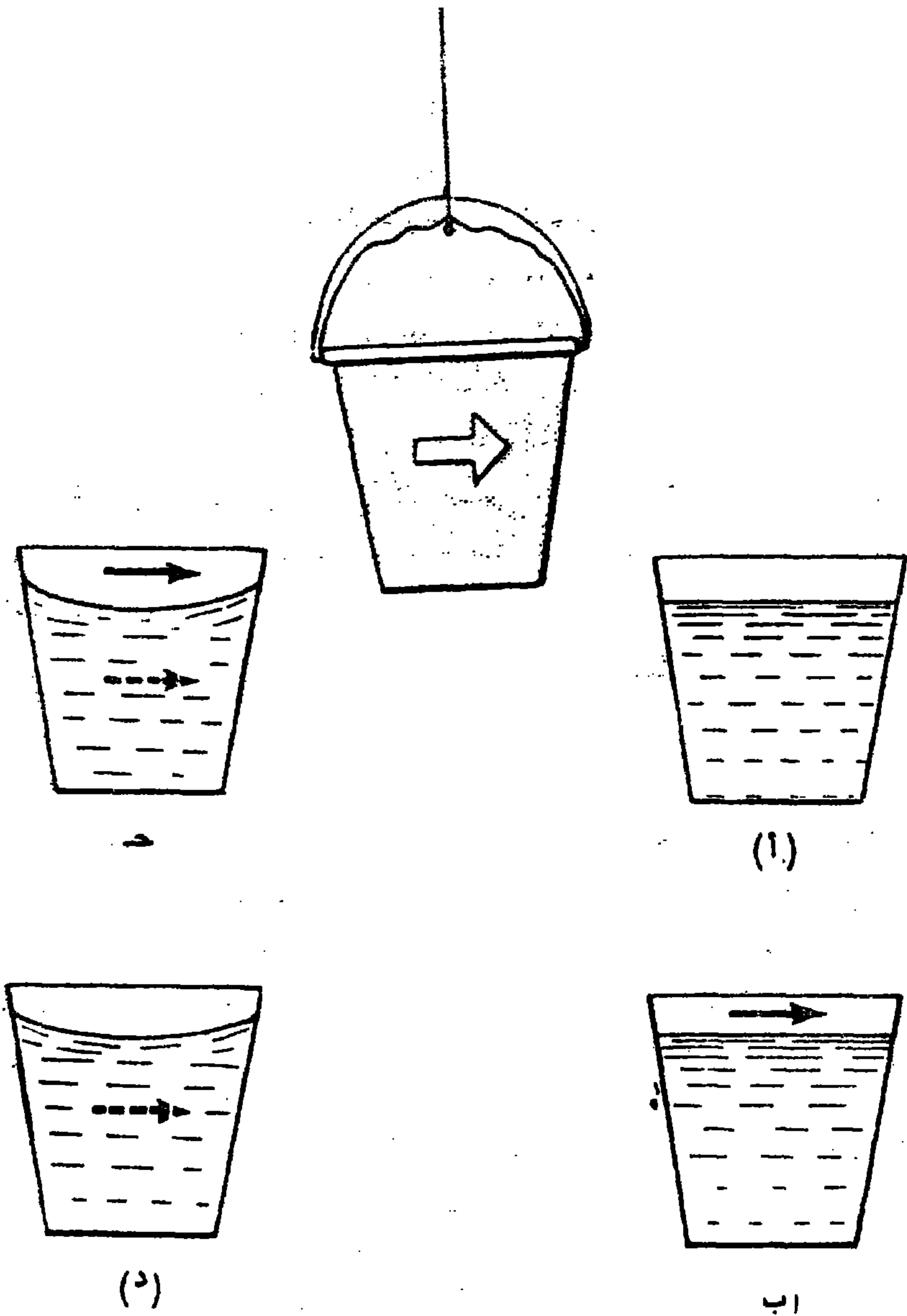
حركة منظمة في خط مستقيم اذن لا يميز بين الحركة الحقيقية والظاهرية . ويختلف الأمر حينما نأتى الى الحركة غير المنتظمة . فإذا ما غيرت الطائرة من سرعتها أو اتجاهها ، فإن أثرا لذلك سيحس على شكل اندفاع للأمام أو للخلف ، بينما سيصعب القيام بنشاط ما .

وقد فسر نيوتن هذه الظاهرة بأنها بسبب « القصور » *Inertia* . فعلى الرغم من أن الأجسام لا تقاوم الحركة المنتظمة ، فانها تقاوم التغير فيها ، سواء كان تسارعا في نفس الاتجاه ، أو تغييرا في الاتجاه ، أو كليهما . فالأجسام تحاول الاستمرار في الحركة السابقة ، في مواجهة التغير . ومن الأمثلة الهامة في هذا الخصوص ، والتي أولاها نيوتن عناية خاصة ، الحركة الدائرية ، والتي تتولد فيها ما يعرف بالقوة الطاردة المركزية *centrifugal force* . هذه القوة يعرفها من ركب أرجوحة دوارة ، أو سيارة انحرفت عن اتجاهها بسرعة .

هذا الخلاف بين الحركة المنتظمة والمتغيرة خلاف عميق ، فبينما أن الحركة المنتظمة نسبية ، فإن الحركة المتغيرة تبدو مطلقة ، فالمرء يمكنه تمييزها بدون اللجوء لمرجع خارجي . فراكب الأرجوحة الدوارة يعلم أنه متحرك دون الاضطرار للنظر الى الأرض ، وأنه هو المتحرك وليس شيئا آخر بالقرب منه . وقد توصل نيوتن الى أن هذه الحركة التي لا تحتاج لمرجع خارجي يجب أن تنسب للفضاء ذاته ، ووضع اصطلاح « الفضاء المطلق » *absolute space* ، ناظرا اليه من منظور معين كمادة تحتوى كل الأشياء ، وبداخله يمكن للأشياء أن تتسارع . وبناء على هذه النظرية ، فإن رد فعل الفضاء هو الذى يسبب القصور الذاتى ، والقوة الطاردة المركزية ، بالضبط كما تسحب يدك في الماء .

ولتوضيح هذه الفكرة ، تخيل نيوتن هذه التجربة : تخيل دلوًا ممتلئا بالماء ، معلقا من حبل طويل ، وهب أن الحبل قد قتل بشدة ، ثم أطلق ، فأخذ الدلو في الدوران ( الشكل ١٠ ) . يظل الماء في البداية غير متأثر ، ثم يبدأ في الدوران أيضا الى أن يدور الدلو والماء بنفس السرعة . وحينما يدور الماء ، فإن سطحه يسوى يتقوس لأسفل ، بسبب القوة





- الشكل (١٠) : تجربة الدلو لنيوتن ، يفتل الحبل ثم يترك الدلو الممتلئ بالماء .
- ( الشكل ١ ) يبدو فيه سطح الماء مستويا ، حين يبدأ الدلو في الدوران ( السهم المتصل ) .
- يظل السطح مستويا ( الحال ب ) • عند سرعة معينة للماء ( السهم المنقطع ) يقوس سطح الماء لأسفل ( الحالة ج ) • اذا ما أوقف الدلو ، يظل تقوس الماء برهة ( الحالة د ) •
- ويوضح ذلك أن تقوس سطح الماء ليس مرتبطا بحركة الماء منسوبا لحركة الدلو .

الطاردة المركزية . وإذا ما أمسكت بالدلو لايقافه ، فإن الماء سيظل يدور لفترة ، متخذاً نفس الشكل المقوس .

يمكنك أن تحكم على دوران الماء بالنظر الى سطحه ، دون رجوع لاي شيء في الكون ، فالماء ساكن حين يكون سطحه مستويا ، ومتحرك حين يكون مقوسا . وعلى وجه الخصوص ، فالتقوس لا علاقة له بحركة الدلو الحامل للماء ، ففي بداية التجربة ، كان الدلو متحركا بالنسبة للماء ولكن السطح كان مستويا ، وفي نهايتها ، كان الدلو ساكنا ، والسطح مقوس ، وفي وسطها ، لم تكن هناك حركة نسبية بين الدلو والماء ، ولكن السطح ظل مقوسا ، في حين أنه قبل بدء التجربة ، لم تكن هناك أيضا حركة نسبية بينهما ، ولكن السطح كان مستويا . وعلى ذلك يبدو أن التقوس يعتمد على الحركة المطلقة للماء ، تلك التي نسبها نيوتن لما أسماه الفضاء المطلق .

والك أن تدفع بالتجربة قدما ، بتخيل أنك نقلت الدلو والماء للقطب الشمالي ، وعندئذ فانه حتى لو كان الدلو متوقفا عن الدوران ، والماء به ساكن ، ستجد بالقياسات الدقيقة أن التقوس لا يزال موجودا ، في هذه الحالة بسبب أن دوران الأرض يحمل الماء معه ، نفس الدوران الذي ، ولنفس السبب ( القوة الطاردة المركزية ) يتسبب في انبعاج الأرض عند خط الاستواء . فالدوران ليس شيئا ينسب حتى للأرض ، أو للشمس ، أو مركز المجرة ، فسطح الماء سيكون مستويا في الواقع فقط حينما يكون الماء ساكنا ( غير دوار ) بالنسبة لأبعد نقطة في الكون .

والآن ، طبقا لنيوتن ، يكون سطح الماء مستويا حينما يكون الماء غير دوار بالنسبة للفضاء المطلق . وعلى ذلك ، فإن اطار الاسناد الذي يحدد الفضاء المطلق يبدو أنه نفس اطار الاسناد الذي توجد فيه المجرات البعيدة ، وشبيه بذلك قولنا ان كافة المجرات ليست دوارة ، وان الكون بأسره غير دوار ، على الرغم من أن كافة ما فيه ، الكواكب والنجوم والمجرات المنفردة ، تدور . وان هذا المنطق يبدو ملائما لمنطقنا البديهي ، ربما لأن منطقنا البديهي مبني على ثلاثة قرون من الفيزياء النيوتونية ، ولكن هناك رؤية بديلة .

وقد ادعى معاصر لنيوتن ، جوتفريد لايبنز Gottfreid Leibniz أنه : « ليس هناك فراغ دون مادة » . وبعد عدة سنوات عارض الفيلسوف الأسقف جورج باركلي George Barkley أيضا فكرة الفضاء المطلق ، معتبرا اياها بغير معنى ، قائلا : « يكفي تغيير الفضاء المطلق الى فضاء نسبي محدد بالسما وما فيها من نجوم » .

أما بالنسبة للحركة غير المنتظمة ، فقد كتب يقول : « أعتقد أن بإمكاننا أن نجد كافة صور الحركة المطلقة التي بإمكاننا تصورهما ، في أعماقها ليست الا الحركة النسبية » . لقد اعتبر باركلي أن كل أشكال الحركة ، بما فيها التسارع والدوران ، يجب أن ينظر اليها على أنها نسبية بالنسبة للنجوم الثابتة ، وليس للفضاء .

ولتدعيم منطقته ، يسأل باركلي القارئ أن يتصور شكلا كرويا ، في فضاء فارغ الا منه . في مثل هذا الخواء بغير الملامح ، لا يمكن تصور حركة ما لذلك الجسم ، وحتى التسارع والدوران ليس لهما معنى . والآن ، تصور كونا ليس فيه سوى جسمين مرتبطين بحبل ، من الممكن الآن تصور حركة نسبية على طول الخط بين الكرتين ، ولكن الحركة الدائرية للجسمين حول مركز مشترك ليست متصورة . في المقابل ، لو افترضنا أن سماء ممتلئة بالنجوم قد خلقت ، حينئذ يمكن تصور الحركة الدورانية بالنسبة لتلك الخلفية .

ويتعارض هذا صراحة مع رأى نيوتن حول ما يحدث في فرض باركلي ، فحتى الجسم الكروي المنفرد يمكن أن نحس بدورانه من انبعاجه عند وسطه ، والجسمان المربوطان بحبل يمكن الاحساس بدورانهما من الشد في الحبل ، والتأثيران يعودان للقوة الطاردة المركزية ، وقد بين نيوتن صراحة أن التأثير الذي يميز الحركة المطلقة عن النسبية هو تلك القوة .

ورغم النجاح الساحق لميكانيكا نيوتن ورؤية العالم من خلالها ، فإن الموضوع الشائك للفضاء المطلق والدوران المطلق لم يختف . ففي

النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، تناول الموضوع الفيلسوف ايرنست ماخ Earnest Mach المعروف بأبحاثه فى الصوت ، وتكريما لذكراه أطلق اسمه على سرعة الصوت . وقد رفض ماخ تقبل فكرة فضاء مطلق غير منظور ، قائلا ، كما ذهب باركلى ، ان الحركة المنتظمة غير المنتظمة كليتهما نسبيتان . فالدوران مثلا ، نسبى بالنسبة للنجوم الثابتة . ولكن هذا يترك موضوع القوة الطاردة مفتوحا ، فاذا لم تكن رد فعل من الفضاء المطلق ، فمن أين أتت ؟ ولقد افترض ماخ حلا وجيها ، فمن وجهة نظر الشئ الدوار ، يحس بالقوة الطاردة من منظر النجوم تدور ، ففى اذن مصدر تلك القوة . وعلى ذلك ، فالقوة الطاردة ، أو بعبارة أعم ، القصور الذاتى ، ليس رد فعل لفضاء مطلق غامض ، ولكن بسبب الأشياء المادية المتناثرة فى الكون الفسيح . طبقا لهذه الفكرة ، والتي عرفت بمبدأ ماخ ، فان تقلص معدتك وانت فى مركبة بالملاهى سببه جذب من نجوم ( مجرات ) على أبعاد سيحيقة .

وعلى الرغم من أن ماخ لم يستطع أن يقدم صياغة دقيقة لكيفية حدوث ما ذهب اليه ، فان فكرة كون القصور الذاتى تفاعلا بين الجسم والأجسام البعيدة فى الكون قد أثرت بعمق على الكثير من المفكرين . فآينشتين يعترف بأنه تأثر بكتابه « الميكانيكا » عند وضعه لنظريته عن الجاذبية ، المعروفة باسم النسبية العامة . ولكنه فى هذا الوقت كان قد غير مفاهيم كثيرة عن طبيعة الفضاء والزمن ، فى نظريته النسبية الخاصة التى نشرها عام ١٩٠٥ .

### بمسيرة آينشتين

قوانين نيوتن حين تطبق على الحركة المنتظمة التى تكون فيها سرعة الأجسام واتجاهها ثابتا هى نفسها بالنسبة لكل مشاهد متحرك بسرعة منتظمة ، فهذه القوانين تنكر على أى مشاهد أو جسم ماضى ميزة تحديد ثبات مطلق قياسى . وفى هذا المضممار ، يكون السؤال عن سرعة الأرض خلال الفضاء لا معنى له ، بالضبط كما لا يمكن لسفينة الأعداء الفضائية

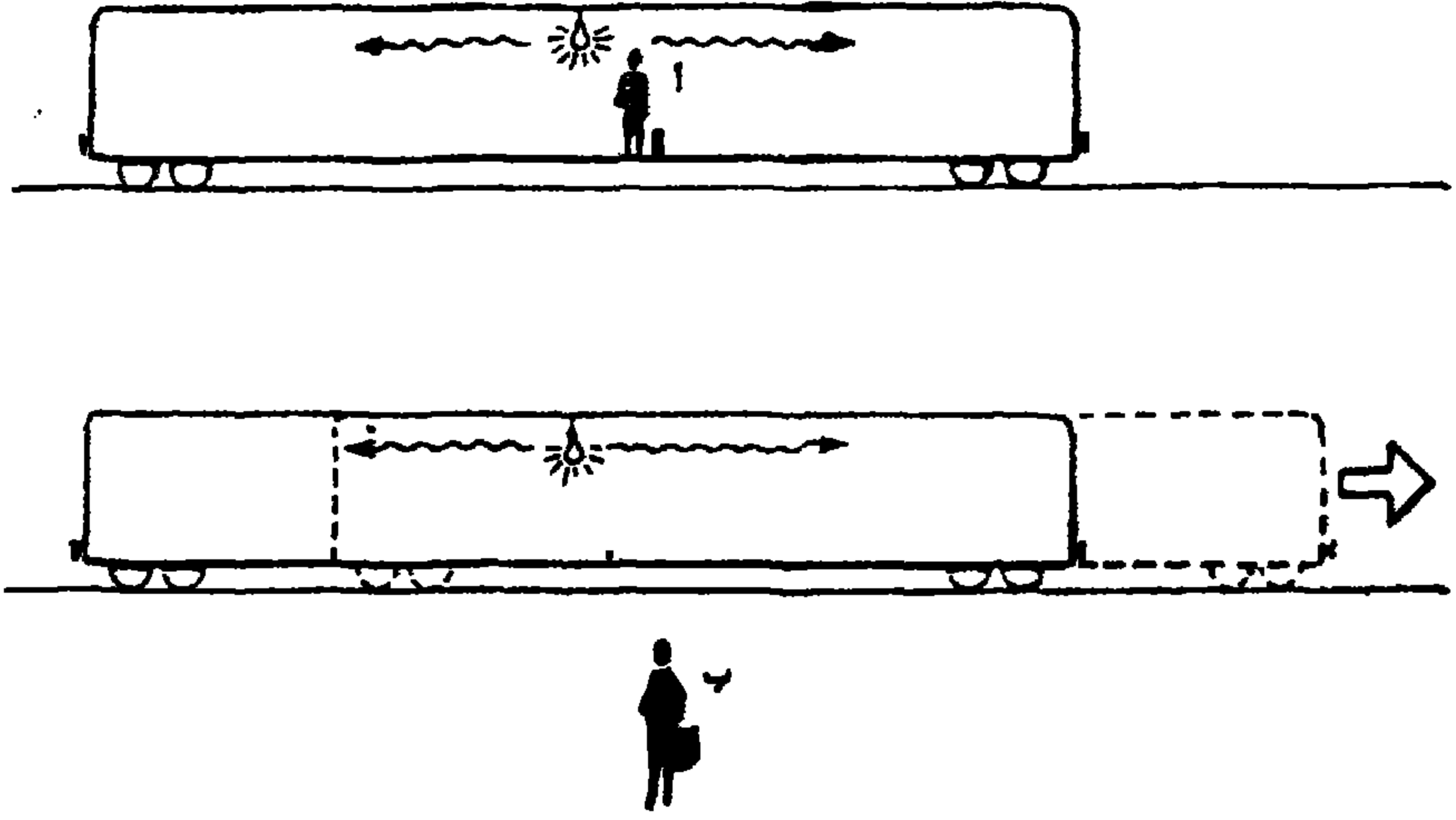
أن يتوقف في الفضاء . ولكن مسألة سرعة الأرض خلال الفضاء أخذت منعطفا جديدا في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . فأعمال فاراداي وماكسويل كشفت عن وجود مجال كهرومغناطيسي كعامل مسئول عن نقل القوى الكهربائية والمغناطيسية عبر ما كان يتصور أنه فراغ خاو . وقد استنبط ماكسويل المعادلات المعروفة باسمه ، والتي تصف كيفية شق الموجات الكهرومغناطيسية لطريقها خلال الفضاء . وقد حسب سرعة هذه الموجات ، ووجد أنها بالضبط تساوى سرعة الضوء . وحيث ان الضوء كانت سرعته معروفة ، لكن ماهيته لم تكن كذلك ، فإن هذا كان دليلا قاطعا على أن الضوء هو نوع من تلك الموجات . ونحن نعلم أيضا أن الاشعاعات كأشعة الراديو وأشعة اكس وغيرها هي أيضا من نفس النوع ، وتنطلق بنفس السرعة . ولكن الشيء الغريب في هذا الرقم ، المعبر عن سرعة تلك الموجات ، أنه ثابت محدد بالمعادلات فقط ، فأين المرجع الذي نسبت اليه هذه السرعة ؟ هذا ما تساءل عنه العلماء ، وبسببه ظهرت فكرة الأثير ، كوسط يملأ الفضاء بأكمله . فالموجات الكهرومغناطيسية ، والتي أصبحت ينظر اليها كاهتزازات منطلقة عبر الأثير ، يجب أن تكون سرعتها منسوبة للأثير . وقد استتبع ذلك على التو أنه يمكن قياس سرعة الأرض بمفهوم مطلق ، وليس بالنسبة للفضاء الخاوى ، بل بالنسبة للأثير .

وأصبح الأثير يلعب دور الاطار المرجعى لحالة السكون المطلق ، فبالنسبة له يمكن أن تقاس حركات كافة الأجسام . وأصبحت المهمة الأولى على مدى العقدين الأخيرين من القرن الماضى هي : قياس سرعة الأرض للأثير . وذلك بقياس الفرق بين سرعة الضوء فى اتجاه حركة الأرض وسرعته متعامدا عليها . وجاءت المفاجأة المذهلة ، حيث أثبتت أدق التجارب دقة ، وعلى وجه الخصوص تلك التى أجريت بواسطة العالمين ألبرت ميكلسون Albert Michelson وادوارد مورلى Edward Morly من الولايات المتحدة ، أن السرعة فى الاتجاهين واحدة . لم توجد أية دلالة على أى تأثير تسببه الأرض فى حركتها عبر الأثير .

ورغم أن آينشتين كان من تحقق على يديه حل اللغز الناتج عن عدم وجود أثر لتيار الأثير عن طريق نظرية النسبية الخاصة عام ١٩٠٥ ، إلا أن القضية كانت الشغل الشاغل لعلماء الفيزياء آنذاك ، ومن المؤكد أن الألوان قد حان لتلك النظرية ، وأنها لابد ظاهرة حتى بدون عبقرية آينشتين . والسمة الأساسية لتلك النظرية ثورية بمعنى الكلمة . فهي تفترض أن الأثير لا وجود له ، وأن السبب في أن معادلات ماكسويل تعطى سرعة للضوء ثابتة على مستوى الكون ، هي لأن هذه السرعة ثابتة مهما كانت سرعة من يقيسها . والأكثر من ذلك ، هذه السرعة الثابتة ، وهي سرعة الضوء ، تمثل الحد الأقصى لأي سرعة نسبية بين الأجسام المادية ، فلم يحدث على الإطلاق أن يقيس جسم سرعة جسم آخر ، ويجدها أسرع من سرعة الضوء .

ومن هذه الحقيقة ، أي ثبات سرعة الضوء على المستوى الكوني ، تنبع كافة غرائب النظرية النسبية ، ومنها انكماش الطول وتمدد الزمن . ويمكننا أن نعطي لمحة عن مضمون ذلك بتصوير التجربة التالية : تخيل أن قطارا يتحرك وبمنتصف إحدى مركباته مصدر للضوء . في لحظة معينة أرسلت نبضتان في اتجاهين متضادين ، للأمام وللخلف من المركبة ( الشكل ١١ ) . فراكب القطار سوف يتصوره ثابتا بالنسبة له ، ومن ثم فسيرى أن النبضتين سوف تصلان إلى نهاية المركبة في نفس الوقت تماما ، انهما منطلقتان بنفس السرعة ، وتقطعان نفس المسافة .

لنتصور الآن مشاهدا واقفا على رصيف القطار ، يرقب القطار مندفعاً في اتجاهه . طبقا لمسلمة آينشتين ، فإن سرعة الضوء هي نفسها بالنسبة له ولكلتا النبضتين ، فمن وجهة نظره تتقدم مؤخرة القطار تجاه شعاع الضوء القادم لها ، بينما تتباعد المقدمة عن الشعاع المرسل إليها ، بمعنى أن شعاع الضوء يقطع في الحالة الأولى مسافة أقل من التي يقطعها الشعاع الآخر ، وبالتالي ستصل النبضة المتجهة للمؤخرة قبل تلك المتجهة للمقدمة .



الشكل (١١) : خدعة « الآن » • يومض المصباح مرسلًا ومضتين في الاتجاهين المتضادين في العربة ، الجميع متفق على أن النبضتين قد اطلقتا في نفس اللحظة ، ولكن هل هناك اتفاق على لحظتي وصولهما لنهايتي العربة ؟

( ١ ) من وجهة نظر المسافر ، النبضتان تتحركان بنفس السرعة ، وتقطعان نفس المسافة ، ولذا ستصلان في نفس اللحظة لنهايتي العربة •

(ب) من وجهة نظر مشاهد على الرصيف ، النبضتان تتحركان بنفس السرعة أيضا ، ولكن لا تقطعان نفس المسافة ، فالنهاية الخلفية تتحرك مع الضوء ، فتقل مسافة النبضة المتجهة اليها ، ويتربط عليه أن يرى النبضة المتجهة للخلف تصل قبل النبضة المتجهة للأمام •

يمكن سر الخلاف في كون كلا المراقبين يريان الضوء يتحرك بنفس السرعة •

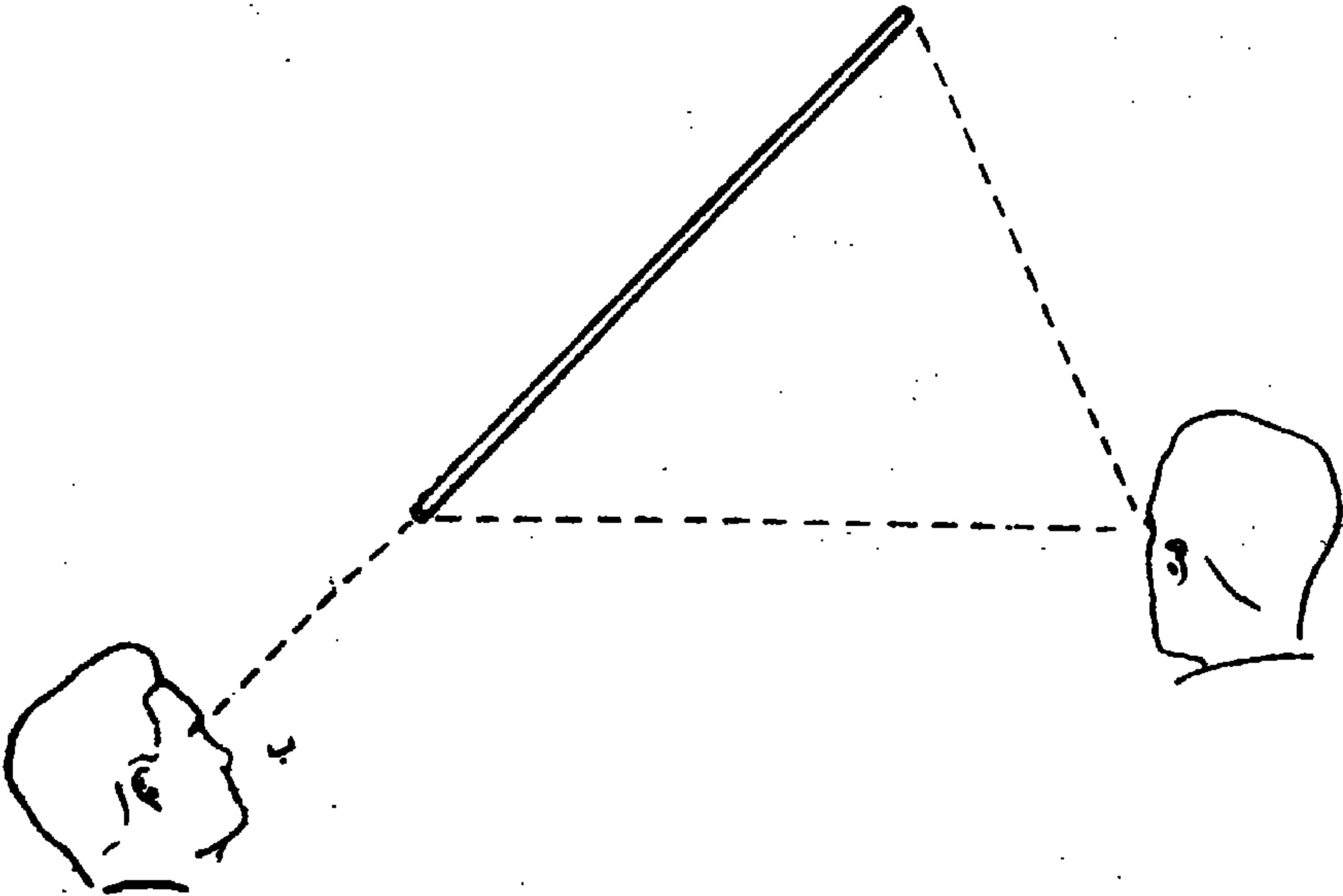
ما الذي نستخلصه من هذه التجربة الخيالية (٤) ؟ ان حادثتين آتيتين ( وصول النبضتين لمقدمة العربة ومؤخرتها ) بالنسبة لمشاهد ( راكب القطار ) ليستا كذلك بالنسبة لمشاهد آخر ( المشاهد على الرصيف ) • وبمعنى آخر ، فالآنية على المستوى الكوني ليست مطلقة ، بل هي نسبية ، فكل مشاهد له قياساته الخاصة به للفرات الزمنية بين الأحداث ، بحسب طبيعة حركته •

وبنفس الطريقة ، نجد أن لكل مشاهد قياساته الخاصة بالنسبة للمسافات بين نفس الأحداث • فمن المتصور أن يرى شخص منطلق في الفضاء بسرعة قريبة من سرعة الضوء المسافة بين الأرض والشمس ١٥ كيلو مترا فقط ، بدلا من ١٥٠ مليون كيلو متر •

## تزاوج الفضاء والزمن :

يفقد كل من الفضاء والزمن ، كل على استقلال ، استقلالهما في نظرية آينشتين . الا أن المزيج بينهما ، الزمكان spacetime يأخذ معنى جوهريا لا يظهر لو أخذنا كل عنصر من العنصرين على حدة . فحين يغير جسم متحرك من حالته الحركية ، فإن علاقة المكان بالزمن تتغير ، مما ينتج عنه أن تتغير طريقة تصورهما . ولكن لما كان الفضاء والمكان هما واجهتين لكل أعم وأشمل ، فإن الزمكان ذاته يظل ثابتا في خواصه حتى بالنسبة للأجسام المتحركة بطرق مختلفة . وعلى الرغم من أن الزمن يظل فيزيائيا متميزا عن الفضاء ، الا أنه يوجد رباط وثيق يربط الزمن بالأبعاد الثلاثة للفضاء ، بما يبرر التحدث عنهما ككل واحد ، كمتصل من أربعة أبعاد ، مستخدمين لغة رياضية تأخذ في الاعتبار التميز الفيزيقي بينهما .

ويمكن فهم الفكرة بالمقارنة بالأبعاد الثلاثة المألوفة للمكان . تخيل عصا نتطلع اليها من عدة اتجاهات . ان الطول الظاهري لها يختلف طبقا لزاوية الرؤية ، كما هو مبين في الشكل ( ١٢ ) . فاذا نظرنا اليها من

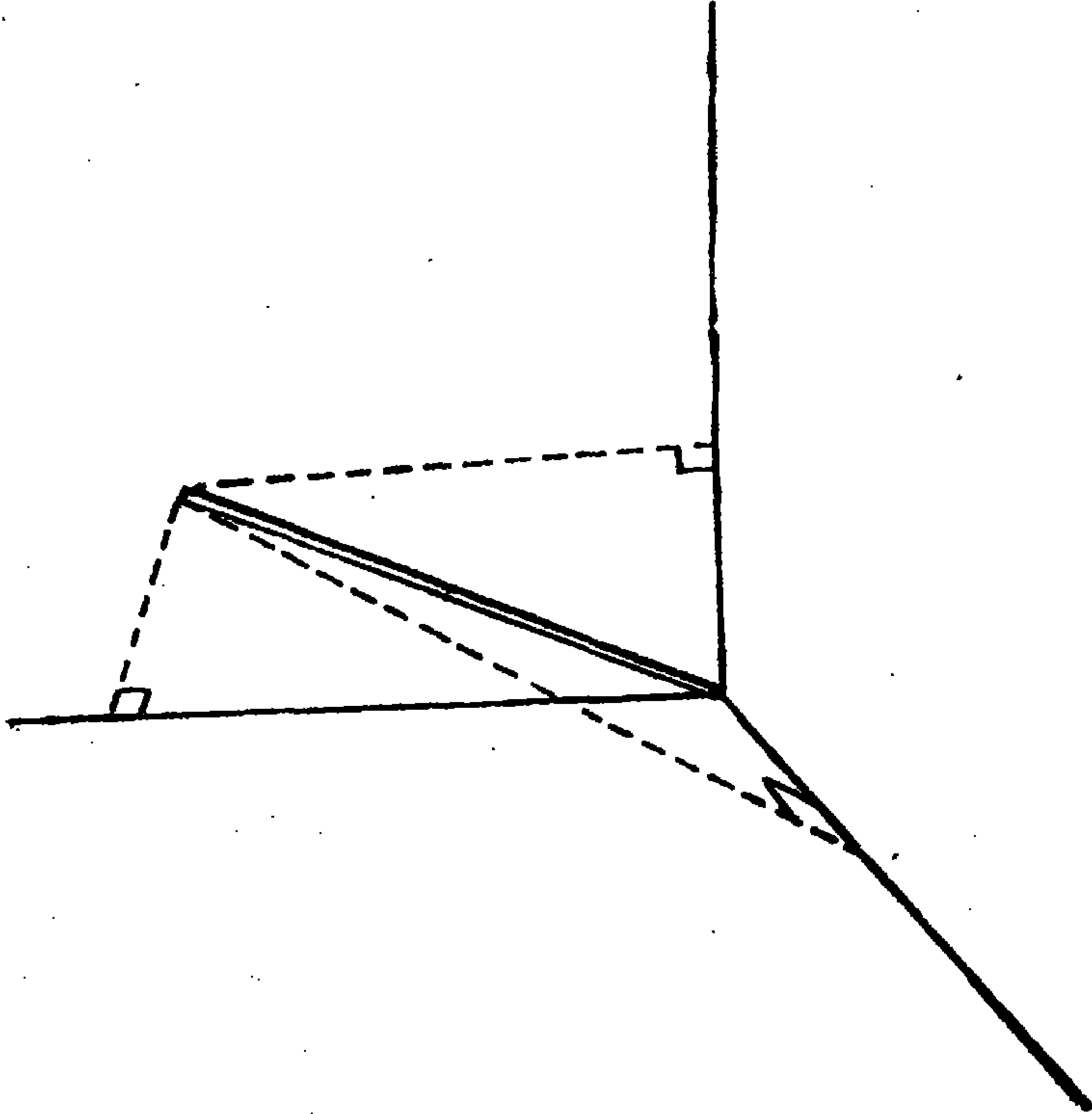


الشكل (١٢) : يعتمد الطول الظاهري لعصا على الزاوية التي ننظر اليها بها ، فبينما يرى المشاهد ( أ ) العصا بكامل طولها ، يراها المشاهد ( ب ) كنقطة .



اتجاه متعامد عليها فستظهر لنا بعدها الحقيقي ، بينما لو نظرنا اليها في نفس اتجاه طولها لبدا طولها صفرا ، الا أن العقل البشرى قد تألف مع هذه الظاهرة ، فلم نعد نخدع بها .

وتوجد صياغة رياضية بسيطة تربط الطول الحقيقي بالأطوال الظاهرية في الأبعاد الثلاثة للمكان تقول : « للحصول على الطول الحقيقي خذ مربعات الأطوال الظاهرية ، واجمعها معا ، ثم خذ الجذر التربيعي للمجموع ( الشكل ١٣ ) . وقد يشعر القارئ بحق أنها تعميم لنظرية فيثاغورث في الأبعاد الثلاثة . ويقوم العقل البشرى بهذه المهمة تلقائيا ، حيث نرى النتيجة شيئا بديهيا .



الشكل (١٣) : يمكن حساب الطول الحقيقي لعصا بتطبيق نظرية فيثاغورث على مساقط العصا على الاسطح الثلاثة المتعامدة .

وفي الأبعاد الأربعة للزمكان ، علينا أن ننظر ، للأشياء كالعصا على أنها ذات أبعاد أربعة ، فما معنى ذلك ؟ انها تعنى أنه لا بد من الأخذ في

الاعتبار اللحظات التي نرى فيها نهايتى العصا . فلو كانت تلك اللحظات تقع عند أزمنة مختلفة ، فان العصا سيكون لها امتداد فى الزمن كما هو لها فى الفضاء . وفى هذا الوضع رباعى الأبعاد ، هناك أيضا اختلاف فى الطول الظاهرى للعصا . وحيث اننا نتحدث عن أربعة أبعاد وليس ثلاثة فان زاوية الرؤية ستكون أوسع مجالا . وقد عرفنا كيف تتغير زاوية الرؤية فى الفضاء ، فكيف نغير الزاوية بين ، مثلا الاتجاه العمودى فى الفضاء ، والزمن ؟ الاجابة ، بالتحرك فى الاتجاه العمودى بسرعة محسوسة بالنسبة لسرعة الضوء ، عندئذ سيبدو الطول أقصر فى اتجاه الحركة . هذا ببساطة هو الانكماش الطولى الذى أشرنا اليه من قبل . وفى المقابل ، تتمدد الفترات الزمنية مع هذا التحرك . ويمكن النظر لهذا التأثير على أنه مقايضة بين المسافة والزمن . والسؤال اذن ، ما هى نسبة التحويل فى هذه المقايضة ؟ حيث ان سرعة الضوء هى الرابطة بين الاثنين ، وهو ٣٠٠ ألف كيلو متر فى الثانية ، فان الثانية تكون مساوية لمسافة ٣٠٠ ألف كيلو متر ، وهى ما نطلق عليه الثانية الضوئية (٦) .

والسبب فى عدم شعورنا بالكون كرباعى الأبعاد هو أن المقايضة بين المسافة والزمن لا تحس الا عند التحرك بسرعات تقترب من سرعة الضوء ، وحيث ان تحرك جسم مادي بهذه السرعة أمر غير متصور فى الحياة اليومية ، فلم يكن من داع لأن يتكيف العقل البشرى على ذلك . ولناخذ مثالا محددا ، عند حوالى ٩٠ بالمائة من سرعة الضوء ، تنكمش الأطوال بحوالى النصف ، بينما تبطىء الساعة بحيث تسير بنصف سرعتها . الا أن هذه التغيرات ذات طبيعة نسبية ، أى منسوبة لمشاهد معين . فالساحرة الممتطية العصا وتطير بتلك السرعة لن تشاهد أى تغير لا فى طول عصاتها ولا فى ساعتها التى تحدد مرور الزمن بالنسبة لها . بل انها سترى أن هذه التغيرات قد حدثت بالنسبة للأرض ، فانكمشت فيها الأطوال وتباطأت الساعات بالنسبة لساعتها . وعلى ذلك ، فبالنسبة للمشاهدين المتحركين بسرعات مختلفة ، فكل سيرة التغير قد حاق بالمشاهد الآخر ، فانكمش طوله وتباطأت ساعته .

ورغم هذا التمازج الحميم بين الزمن والفضاء ، فإن الزمن سيظل هو الزمن ، والفضاء هو الفضاء . هذا التميز يجد تعبيرا عنه فى الصياغة الرياضية ، بتعديل طفيف فى نظرية فيثاغورث ، هو أن مربع الزمن ( بعد تحويله لمسافة كما سبق ) يطرح من مجموع مربعات المسافات ، لا يجمع عليها . هذا الفرق بدوره يتمخض عن نتائج غريبة . فنتائج الطرح قد يكون موجبا ، سالبا ، أو صفرا . أما فى حالة الأبعاد المسافية الصرف ، فنتائج الجمع موجب دائما ، ولا يمثل أخذ الجذر التربيعى مشكلة . أما فى حالة الأبعاد الأربعة ، فالمسألة أعقد من ذلك .

نفترض أن الحادثتين المرصودتين هما انفجار نجمين فى السماء ، يبعدان سنتين ضوئيتين بالنسبة لآطار اسناد الأرض . فإذا ما رصد المشاهد الأرضى الفترة الزمنية بين الحادثتين على أنها سنة ، فإن البعد الفراغى (سنتان ضوئيتان) يكون أكبر من البعد الزمنى (سنة ضوئية) . ويكون ناتج الطرح للمربعات هو  $4 - 1 = 3$  ، وهو مقدار موجب . نقول هنا ان البعد الزمكاني هو « مكاني » السمة . أما لو رصدت الحادثتان على أن الزمن بينهما ثلاث سنوات ضوئية ، فإن ناتج الطرح سيكون  $9 - 4 = 5$  ، أى : مقدار سالب، والقارىء ذو الدراية بالرياضيات يعرف أن جذر العدد السالب هو كمية تخيلية . ونقول هنا ان البعد فى الزمكان ذو سمة « زمنية » ، وسوف نعود لهذه النقطة فى موضع آخر .

ومن المحتمل أيضا أن يكون ناتج الطرح صفرا ، اذا تساوت المسافة الزمنية مع المسافة الفضائية ( المكانية ) ، بأن رصدت الفترة بين الحادثتين فكانت سنتين . هنا يكون البعد الزمكاني مساويا للصفر . فمن وجهة نظر الزمكان ، لا يوجد تباعد بين الحادثتين . هنا أيضا نقول ان البعد الزمكاني ذو سمة « زمنية » ، لأن الحادث هنا أن نبضة الضوء من الانفجار الأول قد وصلت النجم الثانى فى لحظة انفجاره بالضبط . ولهذا السبب يمكن النظر للنقاط على مسار الزمكان لنبضة ضوئية على أن الأبعاد الزمكانية بينها صفر . وعلى ذلك ، فرغم أن الزمن والمكان قد امتد كلاهما بالنسبة للنبضة الضوئية ، فانه من وجهة نظر الزمكان لا يوجد أى

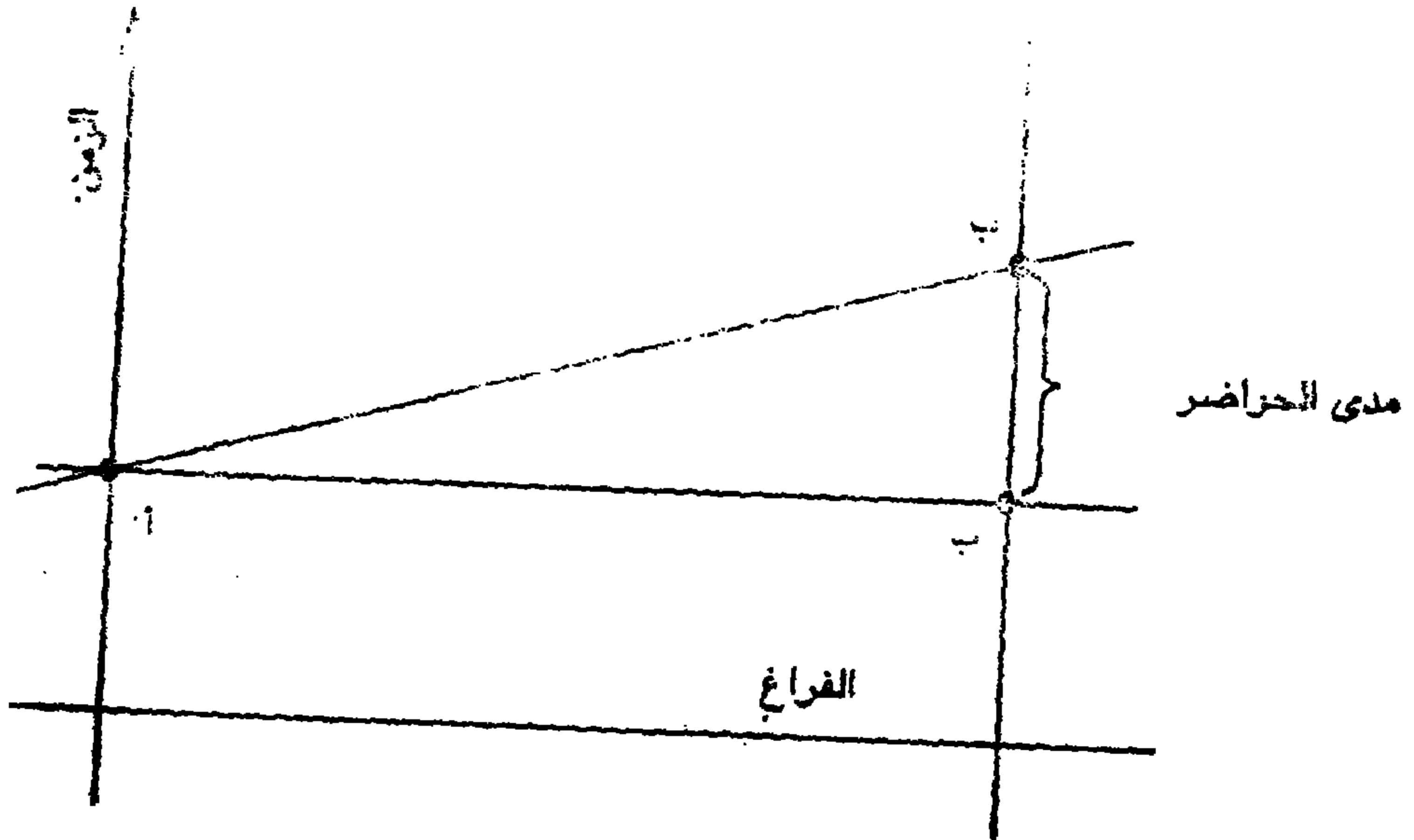
تباعده ، ويعبر عن ذلك أحيانا بأن الفوتون ( جسيم الضوء ) يزور كل النقاط على خط مساره في نفس اللحظة ، أو أنه بالنسبة للفوتون ليست هناك مسافة ما يقطعها عبر الكون .

وقد أظهر هذا التصور للكون رباعى الأبعاد مقدرة فائقة في تفسير الكثير من الظواهر الفيزيائية ، حتى غدا مفهوما ومقبولا تماما لتصوير العالم . ولقد محى من منطق التفكير ما تعارفنا عليه من « الآن » ، أو تقسيم الزمن الى ماض وحاضر ومستقبل . وقد عبر آينشتين عن ذلك في خطاب لصديق حول الموت : « ان الماضى والحاضر والمستقبل بالنسبة لنا نحن الفيزيقيين المخضرمين ، مجرد خدعة مهما استقرت هذه المفاهيم فى الأذهان » . والسبب فى ذلك أن الزمن لم يعد ، من وجهة نظر النسبية ، « يحدث » حيثنا ، أو لحظة بعد لحظة ، بل هو يمتد ، كما المسافة ، فى كليته ، فالزمن ببساطة « هناك » .

وحتى تفهم مدلول ذلك ، يجب أن تتفهم أولا أن « الآن » بالنسبة لى ليس بالضرورة كذلك بالنسبة لك . والسبب فى ذلك ، كما رأينا هو أن تواقى حادثتين متباعدتين فى الفضاء هو أمر نسبى . فما يراه شخص قد حدث قبل شيء ما ، قد يراه آخر فى مكان آخر قد حدث بعده . ونحن لا نحس بهذا فى حياتنا اليومية؛ لأن سرعة الضوء من الكبر بحيث ان اختلاف الفترات الزمنية ليس ملحوظا على مستوى المسافات الأرضية . أما على المستوى الفلكى ، فالتأثير هائل ، فحادثة فى إحدى المجرات قد تراها حدثت عند الظهر فى معمل أرضى قد تبدو متأخرة لقرون من وجهة نظرك لو كنت منطلقا فى مركبة بسرعة فائقة .

ولهذه الأفكار مضامين هائلة . فإذا كانت « اللحظة الحالية » أمرا يختلف باختلاف تحرك المرء على المستوى الكونى ، فمعنى هذا أنه لدينا مدى من « الحواضر » ، البعض منه قد يقع فيما تعتبره أنت ماضيا ، والبعض فيما تعتبره مستقبلا ، على حسب المشاهدين ( الشكل ١٤ ) . وبعبارة أخرى ، فلحظات الزمن ليست أشياء « تحدث » فى مكان فى نفس الوقت ، حيث لن يكون سوى « حاضر » واحد حقيقى . بل ان

الزمن يمتد بصورة ما ، مثله في ذلك مثل المسافة المكانية ، بحيث ان ما يعتبره شخص يحدث الآن ، هو أمر نسبي له هو .



الشكل (١٤) : بالنسبة لآطار مرجعي معين يكون الحدثان ( ١ ) و ( ب ) انيين بمعنى ان ( ب ) يحدث في نفس اللحظة مع ( ١ ) . بالنسبة لآطار آخر ، فالحدث ( ب ) هو الذي يحدث في نفس اللحظة ( ١ ) . أى من الحدثين يمكن ان يعتبر حادثا « الآن » من وجهة نظر ( ١ ) . الاجابة : ليس اى منهما ، فالآن مفهوم نسبي ، هناك مدى من « اللحظات الحالية » ممتد من ( ب ) الى ( ب ) ، بحسب السرعة التي يتحرك بها المراقب . وقد يكون المدى لعدة قرون ! . فأي جدل بان « اللحظة الحالية » هي الحقيقة جدل بلا معنى ، فالزمن يمتد مثل الفضاء ، ويكون الماضي والحاضر والمستقبل على قدم المساواة من حيث الوجود .

فهل يمكن تصور ان المستقبل ، من منظور ما ، واقع بالفعل « هناك » ؟ هل بإمكاننا التنبؤ بالمستقبل ، بمجرد تغيير طبيعة التحرك ؟ في الواقع ، فانه في تجربة القطار السابقة ، لو تصورنا قطارا آخر يسير بسرعة تتجاوز القطار الأول ، فانه بالنسبة لمشاهد على متنه ستكون الحوادث معكوسة في الزمن بالنسبة لما يشاهده مراقب الرصيف . سيبدو ذلك كما لو كان الزمن « يسير للوراء » ، من وجهة نظر ما . على أنك لا يمكنك السفر بسرعة كافية تمكنك من رؤية مستقبلك أنت . فلكي يتحقق ذلك ، يجب أن تنتقل المعلومات عن مستقبلك بسرعة سيكون معها

حاصل طرح المربعات سالبا . وقد ذكرنا أن السفر بسرعة الضوء يجعل المسافة الزمكانية تساوى الصفر ، ولجعل هذه المسافة أصغر من ذلك ، حتى تكون المسافة سالبة ، يتطلب الأمر تحركا بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، وهو الأمر المحظور طبقا للنظرية النسبية .

وبصورة أكثر تحديدا ، فالنظرية تمنع أى تأثير فيزيقى ، أو قوة ، أو إشارة أن تتسارع حتى تكتسب سرعة أكبر من سرعة الضوء . ومعنى ذلك أن الحوادث التى ليست بينها رابطة سببية هى فقط التى يمكن للزمن أن ينعكس فيما بينها . وفى حالة مثال القطارين ، مهما كان اطار الاسناد للمشاهد ، فسوف تصل الاشارتان الى نهايتى المركبة بعد لحظة انطلاقهما ، وليس قبلها ، حيث ان الاطلاق مرتبط سببيا بالوصول . أما لحظتا وصولهما بالنسبة لبعضها البعض فيمكن أن تنعكسا من مشاهد آخر ، حيث انه ليس لأيهما تأثير على الأخرى . أما بالنسبة للسبب والتأثير ، فأقصى ما يمكن حدوثه ، مع الاقتراب من سرعة الضوء ، هو أن يظهر كما لو كانا فى لحظة واحدة ، ولكن لن ينعكس ترتيبهما على الاطلاق . فخداع انعكاس ترتيب الحوادث ممكن فقط فى الحالات غير المتأثرة ببعضها البعض ، فليس لنا ، بأية حال ، أن نعكس التسلسل السببى .

ولعله من المناسب أن نذكر ، باختصار ، أن كل مضامين النظرية النسبية ، بما فى ذلك الانكماش الطولى وتمدد الزمن والحاجة الى القياس فى الأبعاد الأربعة قد تأكدت بالتجارب المباشرة . فهناك الكثير من الجسيمات دون الذرية التى تنتج فى المعجلات الذرية ، وهى التى يمكنها التحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، قد أظهرت صراحة آثارا كالتى تنبأت بها النظرية النسبية . وأحيانا ما تكون هذه التأثيرات حاسمة . فعلى سبيل المثال ، يمكن أن يمدد العمر المقرر لجسيم منها بمقدار قد يصل لعشرين مرة أو أكثر .

وفى أحد المعجلات المذكورة ، تمت الاستفادة من تمديد الزمن . فالإلكترون حين يعجل يبعث اشعاعات كهرومغناطيسية . وقد وجد أنه مع زيادة سرعته فإن طول الموجة المشعة يزداد ، وهو ما يجعل الاشعاع أكثر فائدة فى بعض الاستخدامات العملية . وأيضا ، فى الذرات الثقيلة

يمكن أن تصل سرعة الالكترونات حول النواة الى سرعات تقترب من سرعة الضوء ، فتتعرض بذلك للتأثيرات النسبية ، وهو ما قد يؤثر على خواص المادة ككل ، فاليها يرجع مثلا بريق المعادن .

وكنتيجة لعشرات السنين من التجارب الدقيقة ، لم يعد هناك شك بأية درجة فى دقة النظرية النسبية الخاصة ، كتعبير عن المكان والزمن من وجهة نظر المشاهدين ذوى السرعات الثابتة والمختلفة بالنسبة لبعضهم البعض . والقصور فيها هو أنها ليست مؤهلة للتعامل مع الحركة غير المنتظمة ، أو مع الجاذبية . وهو ما تولى آينشتين تحقيقه فى نظريته النسبية العامة ، والتي سميت كذلك لكونها تتعامل مع أمور أعم مما تتعامل معه النسبية الخاصة .

### الوقوع فى قبضة الجاذبية

على العكس من النسبية الخاصة ، لم تكن النسبية العامة لتظهر لعشرات من السنين لولا عبقرية آينشتين . فعلى الرغم من كون مسألة القصور الذاتى قد شغلت بعض الناس ، مثل ماخ ، إلا أنه لم يحدث أمر ملح يدعو لتنقيح النظرية النسبية الخاصة ، على غرار تجربة مورلى - ميكلسون التى بينت القصور فى نظرية نيوتن . ولقد قام آينشتين بعمله الرائع كصياغة رياضية لوصف الكون - كأحد أعمال التجريد النظرى على أرقى مستوى . وباستثناء بعض التجارب التى أجريت بعد نشر النظرية بوقت قليل ، فإن الأمر تطلب ستين عاما ، الى أن اكتشفت النابضات ، والكواذرات ، والثقوب السوداء ، لتقف النظرية كاحدى الدعائم الأساسية للعلم الحديث ، تشرح خصائص جوهرية للكون . والسبب فى سعة تطبيقاتها فى المجال الفلكى هو أن كل هذه الأجرام العجيبة تمتلك مجالا جاذبيا مهولا ، والنظرية النسبية العامة هى فى الأعم الغالب منها ، نظرية عن الجاذبية .

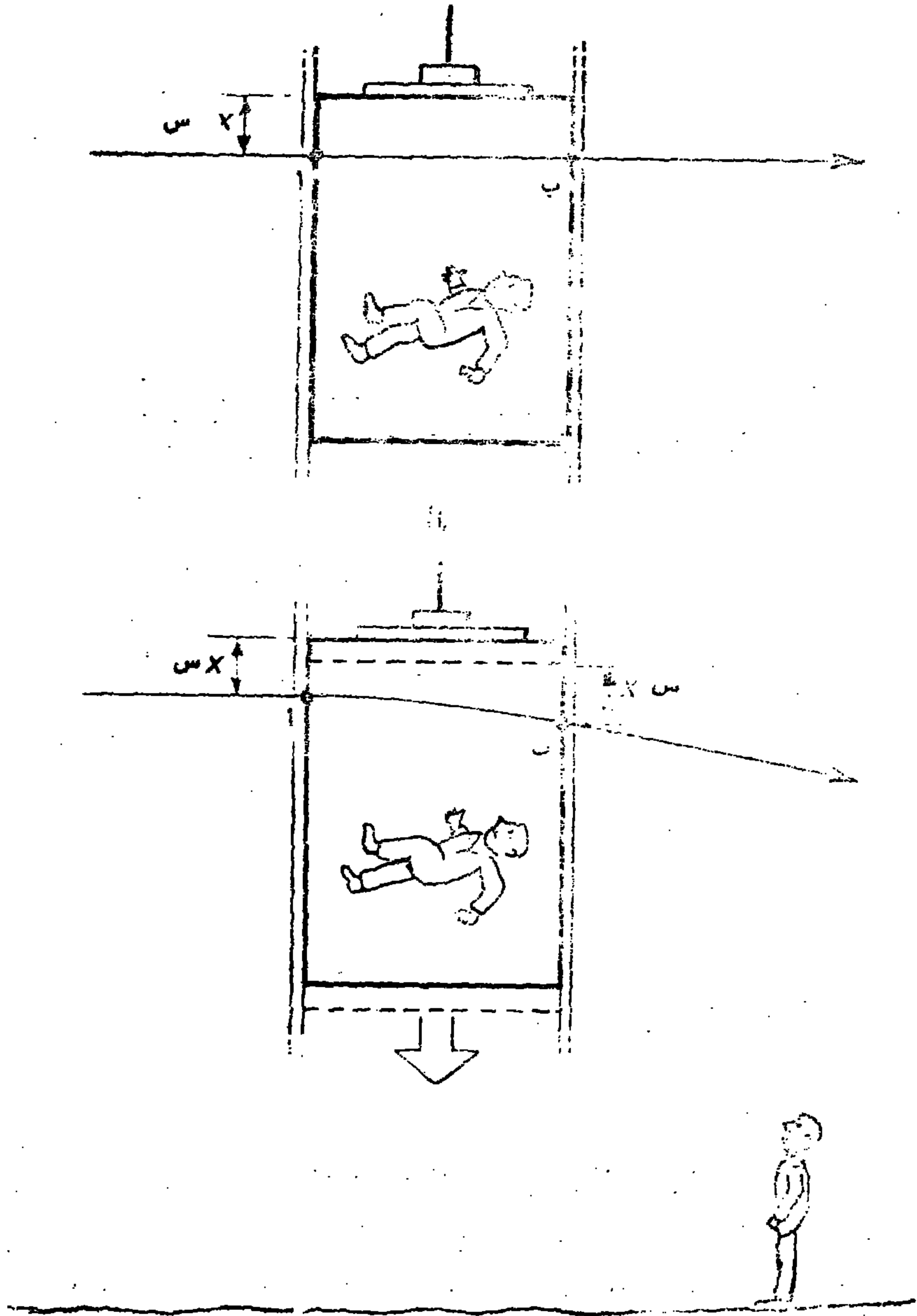
وكان نفاذ بصيرة آينشتين فيما يتعلق بطبيعة الجاذبية بسبب تفكيره العميق فى لغز القوى المصاحبة للسرعة غير المنتظمة ، قوى القصور

الذاتى . وكان يقول ان الالهام الذى قاده الى طريق هذه النظرية أتى من فكرة أن الشخص الساقط من سطح ، أو المحبوس فى مصعد يسقط ، لا يشعر بقوة الجاذبية . فلو أن المصعد أخذ فى التسارع الى أن استطاع أن يتلاشى تأثير الجاذبية بالضبط ، ونصل بذلك لانعدام الوزن ، فإن قوة الجاذبية وقوة القصور سوف يتكافآن كل منهما مع الآخر (٧) .

والتكافؤ بين قوى الجاذبية وقوة القصور الذاتى هو محور جوهرى فى النسبية العامة ، فقد رفعه الى مستوى المبادئ الأساسية . وهو يؤدى مباشرة الى أحد أهم توقعات النظرية . تخيل أنك فى مصعد يهوى ، وأنتك تتطلع الى شعاع من الضوء عابر للمصعد . فبالنسبة للمصعد ، يسير الضوء فى خط مستقيم ، ولكن بالنسبة لمراقب على الأرض ، فالشعاع ينحني ، كما هو مبين فى الشكل ( ١٥ ) . وهذا المراقب سوف يعزو الانحناء الى تأثير الجاذبية ، وعلى ذلك فقد تنبأ آينشتين بأن الضوء ينحني بتأثير الجاذبية . هذا التنبؤ قد اختبر بواسطة الفلكي آرثر ادنجتون Arthur Edington خلال الكسوف الكلى العام ١٩١٩ . وقد قاس ادنجتون الازاحة الطفيفة فى مواضع النجوم بالقرب من قرص الشمس الكاسف . وقد عزى ذلك الى انحناء شعاع الضوء عند مروره بالقرب من الشمس ( الشكل ١٦ ) .

وحقيقة أن الشخص المراقب فى مصعد يهوى ينعدم وزنه ، يجعل الأمر يبدو كما لو كانت الجاذبية يمكن تلافيها بمجرد تغيير اطار الاسناد ، الا أن الأمر على خلاف ذلك ، فحتى بالنسبة للمصعد الساقط يمكن للمراقب أن يقول ان الأرض تمارس جاذبيتها . فالأشياء القريبة من أرضية المصعد أقرب شيئا ما للأرض عن الموجودة قرب السقف، وحيث ان جاذبية الأرض تقل بزيادة المسافة ، فإن الأشياء القريبة من الأرضية تسارع بدرجة أكبر قليلا عن المرتفعة . ويترتب على ذلك أن الأشياء الساقطة سقوطا حرا على ارتفاعات مختلفة ( سواء أكانت فى مصعد أم لا ) تميل للتباعد . وفى الواقع فإن هذه الحركات التفاضلية هى المسئولة عن ارتفاع المد فى المحيطات بسبب القمر ، ومن ثم يطلق عليها « قوى المد » tidal forces .

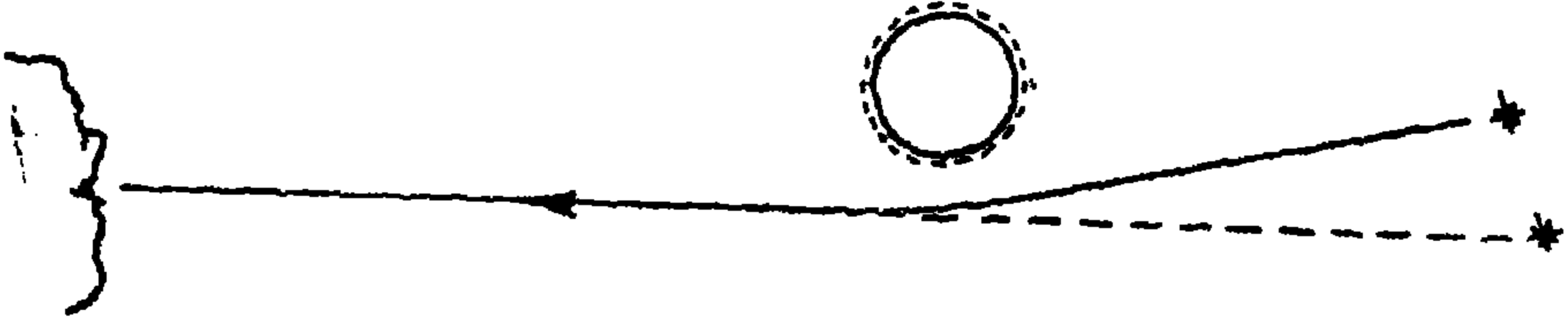




(ii)

الشكل (١٥) : فوتون ( ومضة ضوء ) يعبر مصعدا ساقطا ، من ثقب الى ثقب متقابل .

( ١ ) بالنسبة للطار المرجعي للشخص الياس الموجود داخل المصعد ، ( والذي بالنسبة له يعتبر المصعد في حالة سكون ) ، يدخل الفوتون من النقطة ( س ) ويخرج من ( هـ ) ، وكلتاهما على نفس المسافة من السقف ، فيبدو المسار خطا مستقيما .  
 (ب) بالنسبة لمشاهد على الأرض ، يأخذ المصعد عجلة لأسفل خلال زمن عبور الضوء . ولكي يخرج الضوء من نقطة على نفس المسافة من السقف ، يجب ان يهبط قليلا ، وعلى ذلك فالجاذبية تحني الضوء .



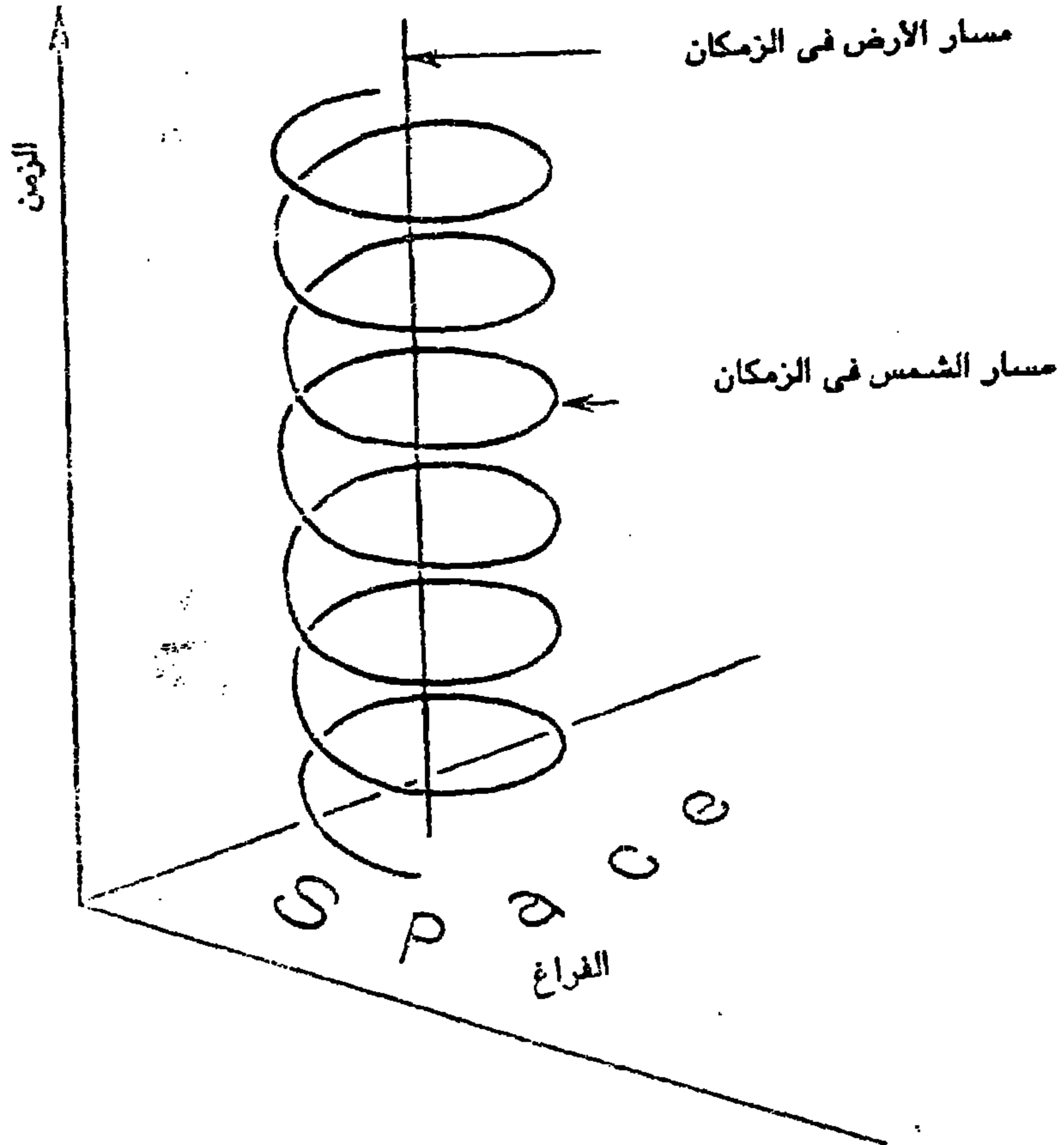
الشكل (١٦) : جاذبية الشمس تحنى الضوء ، ومن ثم يبدو نجم عند رؤيته في وجود الشمس ( وهو ممكن فقط أثناء كسوف كلي ) مزاحا بقدر معين عن مكانه الأصلي .

وقد أدرك أينشتاين أن قوى المد لا يمكن أن تتلاشى بتغيير إطار الاسناد ، فهي تمثل تأثيرا حقيقيا للمجال التجاذبي في ممارسته لنشاطه . وقد ذهب الى أنه اذا كان تأثير هذه القوى هو أن تمط أو تشوه من المسافات بين الأجسام الساقطة سقوطا حرا ، فإن الوصف الأكثر اقناعا لجاذبية المد هو أنها تشويه أو مط للزمان ذاته . وبمعنى آخر ، بدلا من النظر للجاذبية كقوة ، يدعونا أينشتاين أن ننظر اليها كتقوس أو التواء في الزمكان .

ومن منظور معين ، يمكن النظر الى انحناء شعاع النجوم عند مرورها بالقرب من الشمس على أنه مسح مباشر لتقوس الفضاء حولها . ولكن من المهم ادراك أن التقوس حادث في الزمكان ، وليس في المكان فقط فالأرض تتبع مساراً اهليجيا مقفلا حول الشمس ، وفي أول لقاء بالنظرية النسبية العامة من الطبيعي أن نخمن أن هذا يعني أن الكوكب يتبع مساراً خلال الفضاء المقوس الخاضع لمجال جاذبية الشمس . ولكن حيث ان مسار الأرض مقفل ، فإن هذا قد يبدو وكأن الفضاء مطوى بصورة ما حول الشمس ، يبتلع المجموعة الشمسية فيما يدعى الثقوب السوداء . ومن الواضح فساد هذا التصور . والخطأ دقيق ، ولكنه جوهري . فمن وجهة نظر الزمكان ، فالمسار ليس مقفلا ، ولكنه يأخذ الشكل اللولبي المبين في الشكل ( ١٧ ) .

فبعد كل دورة حول الشمس ، تعود الأرض الى موقعها السابق في المكان ، ولكن في زمن مختلف ، متقدمة سنة بعد أخرى مع كل دورة .

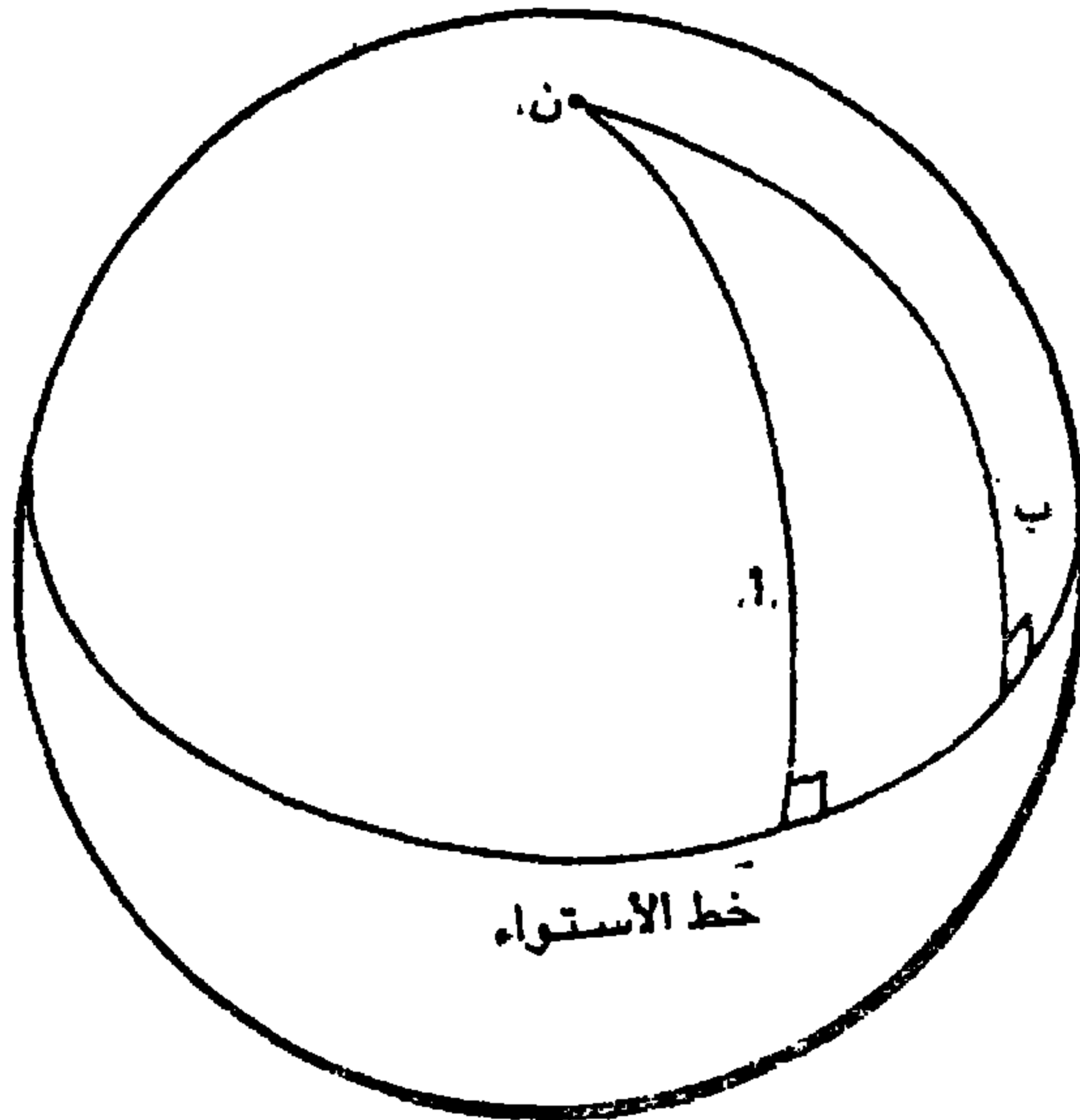
وفي كل مرة تأخذ الزمن في الاعتبار كجزء من الزمكان ، فاننا نضربه في سرعة الضوء ، وهي كمية كبيرة ، مما يعنى أن اللولب سيمط في البعد الزمنى بصورة هائلة . « فالمسافة » على طول المحور التى تقابل دروة واحدة هي سنة ضوئية ، أى حوالى ٩٥٠٠ بليون كيلو متر . وعلى ذلك فالصورة الصحيحة لمسار الأرض حول الشمس من منظور تقوس الزمكان أن التقوس غاية فى الضالة . هذه الضالة مرجعها الى أن جاذبية الشمس ، مع كبرها بالمقياس الأرضى ، ضئيلة بالفعل على المقياس الفلكى ، ولسوف نشاهد تأثيرات جوهرية لمثل هذا التقوس مع الأجرام ذات الجاذبية الفائقة .



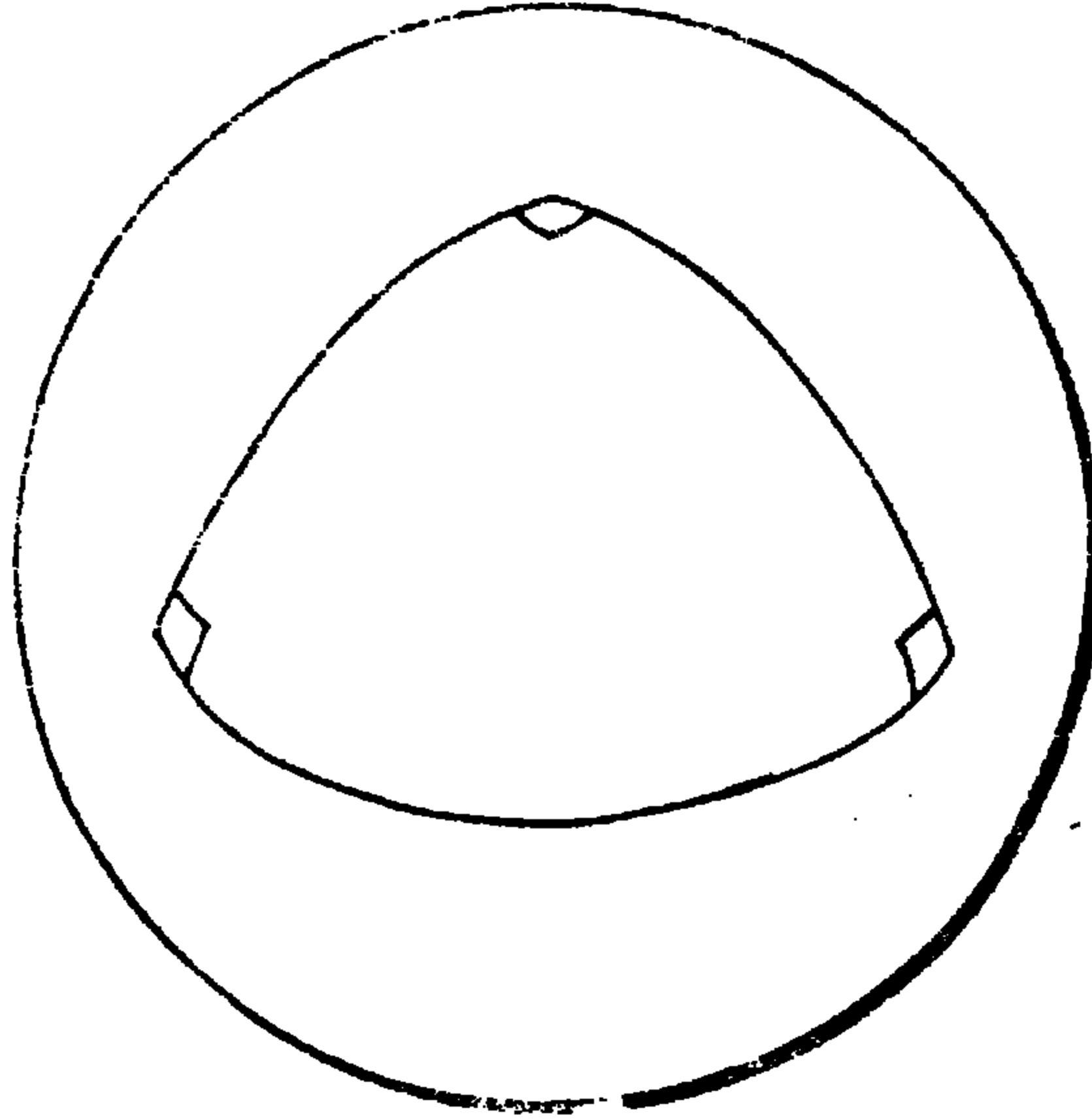
الشكل (١٧) : تبدو الأرض حين ينظر إليها عبر الزمان متخذة مساراً لولبياً حول الشمس . ولأن كل لحظة يجب أن تضرب في سرعة الضوء ( وهي مقدار ضخم ) لكى يمكن مقارنة الزمن بالمسافة ، فإن اللولب يبدو ممطوطاً بدرجة كبيرة جداً فى الاتجاه الراسى عما يبدو فى الشكل .

وتتمثل جرأة آينشتين في تعرضه لمسألة الجاذبية والحركة غير المنتظمة في الغائه لفكرة الفضاء المسطح ، وادخاله فكرة الزمكان المقوس . وبعد أن هدم نظرية نيوتن في نسبيته الخاصة ، ففي نسبيته العامة هدم الهندسة الاقليدية في وصفها للكون في نسبيته العامة .

ولكن ما الفضاء المقوس ، ناهيك عن الزمكان المقوس ؟ لنعد الى النقطة الجوهرية في هندسة اقليدس ، الخطوط المتوازية التي لا تلتقي مهما امتدت . في القرن التاسع عشر ابتكر كارل جاوس **Karl Gauss** وجورج ريمان **Gorge Reimann** ونيكولاى لوباشفسكى **Nikolay Lobachevsky** الهندسة غير الاقليدية (٨) ، والتي لا وجود فيها لخطوط متوازية ، وهي هندسة تطبق في دراسة الأسطح المنحنية . فعلى سطح الأرض مثلا ، قد تبدو الخطوط متوازية في البداية ، ولكنها ستتلاقى بالضرورة في النهاية ( الشكل ١٨ ) . والهندسة غير الاقليدية لها خواص تختلف عن الاقليدية ، فبينما مجموع زوايا المثلث في الهندسة الاقليدية هو زاويتان قائمتان ، فان المثلث المبين في الشكل ( ١٩ ) ، والمرسوم على سطح كرة ، له ثلاث زوايا قائمة .



الشكل (١٨) : عند خط الاستواء ، تبدو خطوط الطول متوازية ، الا انها تلتقى عند القطبين بسبب انحناء سطح الأرض .



الشكل (١٩) : على السطوح المنحنية ، يمكن ان يكون المثلث محتويا على ثلاثة زوايا قائمة ، اى يكون مجموع زواياه ٢٧٠ درجة .

فحينما وصف الجاذبية على أنها تقوس فى الزمكان ، كان آينشتين يقصد تطبيق الهندسة غير الاقليدية عليه . ففكرة أن المكان والزمن يمكن أن يشوها بما يجرى فيها من حركة ، فإن الفكرة قد امتدت للجاذبية ، بحيث ان وجود المادة فى الزمكان يمكن أن تسبب التشوه ، أو التقوس ، فى المكان والزمن . ففي نظرية آينشتين ، وعلى عكس الوضع فى نظرية نيوتن ، يجب معاملة الزمكان كنظام رياضى له كيانه ، فهو ليس مجرد ساحة تلعب فيها الطبيعة ألعابها ، بل هو أحد الداخلين فى اللعبة . ومعنى ذلك أنه توجد قوانين ميكانيكية للزمكان ذاته ، قوانين تحكم كيفية تغيره . وبينما الأجرام ذات الجاذبية تتحرك ، فإن المكان والزمن يتشكلان بحيث ان المزيج منهما يتغير . بل من الممكن أن يحدث اهتزازات فى الزمكان، على صورة موجات الجاذبية *gravitational waves* ، وهى الظاهرة التى سنتناولها فى الفصل السادس .

تمدنا النسبية العامة بالوصف الدقيق لكيفية تحرك الأجسام فى وجود المجال التجاذبى من خلال فكرة تقوس الزمكان . وقد عبر جون ويلر John Wheeler أحد المسئولين عن تطوير النظرية النسبية العامة فى عام

١٩٦٠ عن هذه الرابطة بالقاعدة الاصولية التالية : « تخبر المادة الفضاء كيف ينحني ، ويخبر الفضاء المادة كيف تتحرك » . ولكن النسبية العامة مع ذلك لا تنجح تماما في ادخال مبدأ ماخ في الصورة . فالقوة الوحيدة التي تبرر تأثير المجرات البعيدة على معدتك وأنت في مركبة الملاهي هي الجاذبية ، ولكن الجاذبية تبدو للوهلة الاولى أوهن بمراحل من أن تقوم بهذه المهمة . فقانون التربيع العكسي لنيوتن لا يزال مطبقا في النسبية العامة ، ويبين كيف تضعف الجاذبية بمعدل سريع مع المسافة . وفي المقابل ، فتركيز المادة في الكون ثابت الى حد كبير على المستوى الشاسع ، بما يجعل كمية المادة في شريحة كروية من الكون مركزها الأرض وبسمك معين يتناسب مع حجم تلك الشريحة ، وبالتالي متناسب مع مربع المسافة اليها . وعلى ذلك فرغم أن جاذبية كل كسرة من المادة لا تؤثر فينا الا تأثيرا واهنا ، فانه يوجد قدر من المادة يكفي لمعادلة هذا الضعف .

وهذه مصادفة مثيرة ، تشجعنا على أن نفترض أنه حين يبدأ جسم في الدوران فانها تبث اضطرابات جاذبية في أعماق الفضاء ، بما يجعل كل المجرات في الكون تتحرك وتتفاعل متآزرة لتنتج القوة الطاردة التي نلاحظها . ولكن هذا التصور المبسط لن ينجح للأسف ، فرد الفعل على الأجسام الدوارة يجب أن يكون لحظيا ، ولكن النظرية النسبية ترفض أي تأثير يتجاوز في سرعته سرعة الضوء ، وحتى عند سرعة الضوء ، فان ملايين أو بلايين من السنوات يجب أن تنقضي قبل أن يظهر أثر المجرات السحيفة في الفضاء على الأرض . فاي ميكانيزم مبنى على التأثير المباشر يجب أن يتضمن فكرة ردود أفعال تعمل في زمن معكوس . ورغم محاولات وضع تصورات من هذا القبيل ، فلم يكن منها ما هو مقبول .

ويحاول أغلب أنصار مبدأ ماخ اليوم أن يضمّنوه في علم الفلك ليس بمفهوم الاثارة ورد الفعل ، ولكن كجزء من الشروط الحدودية الجاذبية للكون ، بمعنى أنه تعبير عن تنظيم المجال التجاذبي للكون بأكمله . وقد حاول آينشتين ، وهو الذي كان شغوفا بمبدأ ماخ كما قدمنا ، أن يضمّنه بهذه الطريقة في نظريته ، وبعد عقود من المحاولات ، وصل النسبويون ( المهتمون بنظرية النسبية ) الى نتيجة مفادها أن المبدأ لن

يضم للنظرية الا فى كون مغلق ومحدود ، وأبسط طريقة لشرح معنى ذلك هو تصور سطح الأرض . فكوكبنا محدود بكل تأكيد ، ملتف فى شكل كروى الى حد ما ، ولكنه بغير حواف ، ارحل فى أى اتجاه وتستجد نفسك قد عدت الى نفس النقطة . وبهذا المفهوم فالسطح مغلق ، ولكنه بدون حدود . فلو كان الكون بأكمله مغلقا ، فان المرء يمكنه تصور فضاء ثلاثى الأبعاد ، ملتف حول نفسه فى شكل يتيح حجما محددا ، ولكن بلا حواف . وسوف يتحقق أنك لو تحركت فى اتجاه واحد لمدة كافية ، فكما يحدث على الأرض ، ستعود الى نفس النقطة .

ولكن رغم ما يبدو من أن مبدأ ماخ لن ينجح الا فى كون مغلق ، فان الكون المغلق لا يجب بالضرورة أن يتضمن المبدأ . وبشكل عام ، فالنسبية العامة ليست متوافقة مع ذلك المبدأ . وفى عام ١٩٤٩ وجد الرياضى كورت جودل Kurt Godel من معهد الدراسات المتقدمة فى برنستون حلا لمعادلة آينشتين يمكن أن تصف كونا دوارا ، ولا يعنى ذلك أننا نقطن كونا دوارا بالفعل ، ولكنه يبين أن مبدأ ماخ ليس محتوى فى النسبية العامة ، حيث ان دوران الكون ككل أمر لا معنى له طبقا لمنطق ماخ ، فالنسبية لاي شئ يدور الكون بأكمله ؟ ومن هذا المنطلق فان النسبية العامة ، وبالرغم من اسمها ، أقرب لروح فضاء نيوتن المطلق منها الى حركة ماخ وباركلى النسبية .

ومع ذلك ، فالنظرية تنبأ ببعض التأثيرات المتعلقة بمبدأ ماخ . ومن ذلك ما اكتشفه آينشتين نفسه ، وكتب عنه لماخ . فقد وصل بمنطقه الى أنه اذا كان دوران جسم سيعتبر أنه بالنسبة للكون الملىء بالأجسام المادية بأكمله ، فان كل جسم فى الكون يجب أن يمارس بعضا من التأثير عليه . والجزء الأكبر من القوة الطاردة يجب أن تعزى الى أبعد الأجسام فى الكون . وبعد ذلك بحث آينشتين حالة جسم موجود داخل شريحة كروية سميكة تدور حول محورها ( بالنسبة للنجوم البعيدة ) بسرعة فائقة . وبالقدر الذى تساهم فيه الشريحة فى تأثير ماخ الكونى ، فانها يجب أن تمارس قدرا ضئيلا ولكن ملموسا على الجسم الذى بداخلها ، على شكل قوة تجره فى اتجاه الدوران .

ومن الممكن قياس تأثيرات مشابهة في الوقت الحاضر . فقد اقترح ويليام فيربانك William Fairbank منذ مدة تجربة تجرى في الفضاء على جيروسكوب يدور حول الأرض ، وحساب مثل ذلك الجبر الذي يسببه دوران كوكبنا . فطبقا لنيوتن ، فالجيروسكوب يجب أن يشير الى موضع ثابت بالنسبة للنجوم البعيدة ، ولكن طبقا لآينشتين فإن دوران الأرض يترك أثره المماثل لالتواء في مجالها الجذبى ، وسوف يصل لأجواز الفضاء ويجذب الجيروسكوب معها في اتجاه الدوران . هذه التجربة قد تجرى على متن مكوك الفضاء « شاتل Shuttle » فى عام ١٩٩٠ ، ولكن مهما كانت نتيجة تأثير النسبية التى ستنمض عنها ، فانها لن تثبت صحة مبدأ ماخ .

ويظل مبدأ ماخ محيرا ، ومثيرا للتفكير ، وتكمن اثارته فى توحيدته للكون فى وحدة واحدة ، واعطائه لأجزاء من المادة لم يكن يحسب لها خطر دورا حاسما على المستوى الكونى . ومن الصعب تصور كيف يمكن التحقق منه عن طريق المشاهدة ، ولكن من جهة أخرى يمكن اثبات خطئه لو حدث واكتشف أن الكون يدور ككل واحد ( أى بالنسبة لاطار الاسناد الذى تختفى فيه القوة الطاردة ) . وسيظهر ذلك فى الخلفية الاشعاعية للكون ، والتى تخلفت عن الانفجار العظيم الذى تولد عنه الكون . هذا الاشعاع الذى يتخلل الكون يحمل بصمة كافة الحركات الكبرى ، وسيظهر دوران الكون على صورة تغيرات بما فى ذلك درجة حرارة هذا الاشعاع فى مناطق السماء المختلفة . وتبين المشاهدات أن الاشعاع منتظم بدرجة تدعو للدهشة ، ومن الممكن أن نضع حدا أعلى شديد الصرامة على ما يسمح له من دوران للكون ، فقد اتضح أنه لو حدث وكان الكون دوارا ، فلن يكون قد دار سوى عدة درجات قليلة منذ منشئه .

وبالنسبة لرافضى مبدأ ماخ ، فإن هذه المشاهدات تمثل لهم لغزا . فليس هناك من سبب واضح لماذا يكون معدل دوران الكون صفرا . وبعبارة أخرى ، لو كان الدوران مطلقا ، فانها تكون مجرد صدفة ، صدفة فلكية ، أن اطار الاسناد الذى تختفى فيه القوى الطاردة هو بالضبط مساو لاطار الاسناد المحدد بالمجرات البعيدة . مثل هذه المصادفة قد تعرض لها العلماء ، كما تعرضوا لصدف أخرى فى الفلك ، فيما يسمى



بالنظرية التضخمية *inflationary theory* المرتبطة بنشأة الكون من الانفجار العظيم .

وقبل أن نتناول موضوع التضخم الفلكي في مضمار الفيزياء الحديثة ومدى فهمنا للزمن والمكان ، فانه يجب أولاً أخذ صورة عن الكون التقليدي كما ترسمه النسبية العامة . وحتى لا يشعر أحد القراء بأن فهمه لمفاهيم النسبية لن يكون على المستوى الذى يؤهله لاستيعابها ، فسنعرض رواية لأحدنا يبين فيها كيف تمكن من هذه المفاهيم .

### اعتراف من نسبوى

هناك أمر مثير بالنسبة للسير آرثر ادنجتون ، والذى قاد فريق البحث فى موضوع النسبية فى العشرينيات والثلاثينيات . فقد سئل يوماً ما أن يعلق على الاشاعة القائلة بأن ثلاثة فقط على مستوى العالم يفهمونها ، وكان ذلك يشير ضمناً له ولآينشتين ، فقد قال بعد تدبر : « ترى من هو الثالث ؟ » .

ان الشهرة المفزعة للنسبية كثيراً ما تثير التعليقات ، ومن الشائع أن نظرية يضعها عبقرى مثل آينشتين ، يجب أن تكون خارج مقدرة الانسان العادى فى فهمها . على أن هذه النظرية تدرس بصورة روتينية اليوم فى الجامعات ، كما تحتوى المكتبات على كتب على مستوى الطلاب عنها . فاما أن طلابنا أكثر ذكاء مما نتوقع ، أو أن النظرية ليست مفزعة بالقدر الشائع عنها . ومع ذلك ، فهناك أناس بالفعل يجدون صعوبة فى فهم أفكارها ، أو فى تصديق أن الكون يتفق مع بعض مما تتنبأ به .

وقد بدأ صراعى لفهم النظرية عام ١٩٦٠ ، حين كنت فى الرابعة عشرة . كان العالم الرياضى الشهير سير هيرمان بوندى Sir Herman Bondi قد دعى لالقاء محاضرة على الطلاب وأولياء أمورهم فى مدرستى بلندن . وكان الموضوع هو « النظرية النسبية » . وكانت بلاغة عرض بوندى مثيرة للإلهام بشكل عجيب . ورغم ذلك فقد ضعت الى درجة اليأس فى التفاصيل الفنية . فالرسومات التوضيحية التى عرضها بوندى عن الزمن

والمكان والمليئة بالاشارات الضوئية المتحركة جيئة وذهابا تركتني في بلبلة شديدة .

وبعد ذلك بفترة وجيزة اكتشفت كتابا كتبه آينشتين نفسه . عنوانه « معنى النسبية » . ويا للأسف ، فمع عبقريته البالغة كان كاتباً غير موفق ، ووجدت الكتاب بلا جدوى . الا ان الفكرة الجوهرية كانت قد غرست في نفسى . ذلك ان سرعة الضوء ثابتة بصرف النظر عن يقيسها ، او كيفية تحرك مصدر الضوء . مثل هذه النتيجة الواضحة بشكل ملغز تتحدى القدرة على التخيل ، ولكنى ، بسبب عمري آنذاك ، كنت شغوفاً بالمفاهيم الغريبة ، ومن ثم تقبلت الفكرة .

### الاعتقاد في المستحيل :

وخلال دراستى أخذت في تعلم بعض ما تنبأت به النسبية الخاصة، تمدد الزمن وانكماش الطول واستحالة تجاوز سرعة الضوء ، وزيادة الكتلة مع زيادة السرعة ، والمعادلة الشهيرة  $E=mc^2$  ، والتي تربط بين الطاقة والكتلة . كل هذا أخذته قضايا مسلما بها ، ولكن مغزاها ظل لغزا محيرا .

وفي الجامعة التحقت بحلقة دراسية خاصة للنسبية . وكان على أن أفكر في تمدد الزمن بالتفصيل .

لم يكن مجرد أمر مثير للتعجب أن يسافر شخص في رحلة فضائية. ثم يعود ليجد توأمه أكبر منه عمرا بعشر سنوات ، بل بدا ذلك هو السخف بعينه . كيف يمكن لنفس الأشياء أن تسير بمعدلات مختلفة ؟ كان ذلك هو تساؤلى لنفسى ، وقد تمثلت الموقف على أن السرعة تشوه من عمل الساعات بصورة ما ، وأن تمدد الزمن ما هو الا صورة الخداع ، تأثير ظاهرى أكثر منه حقيقيا . وظل التساؤل ، أى من التوأمين هو الذى على حق ، وأيهما ضحية ذلك الخداع ؟ (٩) .

وعند هذه النقطة اكتشفت العقبة فى تقدمى . كانت المشكلة كامنة. فى اصرارى على ارجاع كل شىء الى الفطرة البديهية والمفاهيم المسبقة هى

الحقيقة . وهذا ليس بالأمر الحزى بالنجاح . فى البداية بدا ذلك نوعا من الفشل المحبط ، فأعترف أننى لم أستطع أن أتصور الزمن يجرى بمعدلات مختلفة ، وكان ذلك بالنسبة لى بسبب عدم القدرة على فهم النظرية . وبالتأكيد لقد تعلمت كيف أتعامل مع الصيغ الرياضية وأن أحسب الفرق بين الأزمنة ، كان بإمكانى أن أحسب ما يحدث حقيقة ، ولكن كان الباقي على أن أعرف لماذا يحدث .

وهنا أدركت سبب حيرتى . فطالما كنت مستطيعا أن أتخيل تمدد الزمن وغير ذلك من التأثيرات ، وأن أجرى الحسابات المتعلقة بها ، فهذا كل ما هو مطلوب . فطالما كان بإمكانى أن أرجع كل شيء لمشاهد معين ، وأسأل ماذا يمكن له رؤيته وقياسه به بالفعل ، فإن هذه تكون الحقيقة . هذا المنهج البراجماتى ( النفعى ) الذى يهدف الى مجرد رصد ما يشاهد ، دون محاولة وضع تصور شامل للأمور فى منظور مجرد ، يسمى « الوضعية **positivism** » ( انظر الفصل الأول ) ، ولقد وجدته ذا عون كبير على استيعاب القدر الكبير من الفيزياء الحديثة .

وبتخطى عقبة الزمن ، كانت الصعوبة التالية هى استيعاب مفهوم متصل الزمن والفضاء ( الزمكان ) رباعى الأبعاد . لقد قرأت كثيرا أن الزمن بعد رابع ، ولكن هذه المقولة الجافة لم تكن تعنى بالنسبة لى شيئا ، بل لقد بدت لى خطأ بينا . فأكثر أحاسيسى بالعالم فطرية تنبئنى أن المكان ( الفضاء ) هو المكان ، وأن الزمن هو الزمن . فهما من الناحية الوصفية متمايزان بما لا يسمح لى تصور الزمن بعدا رابعا مع المكان . فمن البداية ، المكان هو شيء يمكننى أن أراه وأن ألمسه ، بينما لا أحس باللمظة من الزمن الا عندما يحين أوانها ، والأكثر من ذلك ، فانه بإمكانى التجول فى المكان ، وليس فى الزمن .

المشكلة تكمن فى أننى أخذت عبارة البعد الرابع بمفهوم حرفى . فالنظرية لا تدعى أن الزمن هو بالفعل بعد رابع مع المكان ، فهى لا تنكر تمايزهما ، ولكنها تقول ان الزمن والمكان مترابطان فى خواصهما بدرجة تجعل من المنطقى أن نصفهما معا فى لغة من الأبعاد الأربعة . وما ينتج

عن تنازجهما ، وهو الزمكان ، يتولد عنه الخواص المثيرة التي تعرضنا لها في مؤلفنا هذا . منها مثلا أن المسافة رباعية الأبعاد بين حادثتين على مسار نبضة ضوئية هي صفر ، مهما كان التباعد المكاني بينهما .

حينما وصلت لهذه النقطة تملكنتني حيرة لا توصف ، كيف يتصور الانسان مكانين مختلفين واقعا والبعد بينهما صفرا ؟ وما أن أدركت أن الزمن ليس بعدا للمكان ، تلاشت الحيرة . فكما بينا ، يطرح البعد الزمني من البعد المكاني في الصياغة الرياضية للزمكان ، ويمكن اذن أن يحدث التعادل بينها بحيث يلاشى كل منهما الآخر . فالزمن متميز عن المكان في الصياغة الرياضية للزمكان بإشارته السالبة . أما لو تكلمنا عن المكان مجردا فمن البديهي أن المسافة المكانية ستكون موجودة .

### تصور ما لا يمكن رؤيته

جميل الى الآن ، فالأغاز والمحيرات المتعلقة بالنسبية الخاصة بدأت في الشحوب . ثم أتت أعاجيب النسبية العامة . كنت أعلم أنها نظرية للجاذبية ، وأنها تعالج المجال التجاذبي في صياغة من تقوس الفضاء . وفشلت كافة محاولاتي في تصور فضاء مقوس . فليس من مشكلة في تصور كتلة مطاطية تتقوس ، فهي قبل كل شيء مكونة من مادة ، ولكن الفضاء هو الخواء ، فكيف يتقوس « اللاشيء » ؟ . وبالتحديد ، أين يكون التقوس ؟ ان الكتلة المطاطية توجد في الفضاء ، ولكن الفضاء ليس موجودا في شيء !

في هذه المرحلة كونت انطبعا أن التقوس في الفضاء يظهر نفسه بجعل مسارات الكواكب منحنية حول الشمس . فالأرض تتبع مساراً اهليلجياً حول الشمس ليس بسبب قوة الجاذبية ، ولكن لأن الشمس تقوس الفضاء حولها ، والأرض تتبع أقصر بعد في هذا الفضاء المقوس . ولم يكن ذلك مستغرباً بالنسبة لي ، وقد علمت أن الضوء ينحني بالفعل بفعل الشمس ، الأمر اذن غاية في البساطة ، الفضاء المقوس يعني فقط مسارات مقوسة .

ولكن الغزا بدا في الأفق . فطبقا للتصور الذى وضعته ، فان ذلك يعنى أن الشمس قد طوت الفضاء حولها ، بما يعزلها مع المجموعة الشمسية عن بقية الكون ، ومن البديهي أن هذا هراء .

وكانت الغلطة غاية في الدقة ، فالتقوس المقول به ليس في المكان، ولكن في الزمكان ، والفرق بين التعبيرين جوهرى . فمن وجهة نظر الزمكان ، فمسار الأرض حول الشمس ليس منغلقا ، بل هو لولبى (راجع الشكل ١٧) ، وذلك حين نأخذ البعد الزمنى في الاعتبار . وفي هذه الحالة ، يترجم البعد الزمنى الى مسافة زمكانية بالضرب في سرعة الضوء ، وهو مقدار غاية في الكبر بالمقاييس الأرضية ، مما يترتب عليه أن يعطى اللولب في البعد الزمنى بصورة كبيرة ، الأمر الذى يبين أن التقوس في الزمكان بفعل الشمس ضحل للغاية . فتصورى الأولى للمسارات كان صحيحا ، بشرط أن ندخل عنصر الزمن فيه .

وأخيرا بدا لى أننى أتقدم فى فهم النسبية . الا أن المصاعب الجسيمة بدأت فى الظهور حين بدأت دراسة علم الكونيات . وكان المشهور عن آينشتين اطلاقه مفهوم « منغلق ولكن بلا حدود **closed but unbound** » وهذا يتحدى أكبر قدرات التصور . ولم أكن قد تعودت كلية فكرة تقوس الزمكان فى لا شئ . والآن يتوقع منى أن أتصور أن الفضاء بأكمله مقوس على نفسه بحيث يتقابل مرة أخرى فى الناحية البعيدة منه . ولم تفدنى هذه الصورة كثيرا . فبيان أن سطح الكرة منغلق على البعدين ولكن ليس لها حدود هو أمر سهل القبول ، ولكن أن تمد الصورة للأبعاد الثلاثة ليست بالسهولة التى تصورها ضارب المثل . فالسطح ذو البعدين يمكن أن يتقوس فى الأبعاد الثلاثة ، ولكن فى أى شئ تتقوس الأبعاد الثلاثة ؟ وهكذا ووجهت بنفس المشكلة القديمة .

وأخيرا أفادنى تذوقى للخيال العلمى على التغلب على هذه الصعاب . فقراءتك للخيال العلمى تعودك على تصور نفسك فى مكان الأبطال ، تنظر لنعالم من خلال أعينهم ، وتشاركهم خبراتهم . حتى وأنت تقرأ عن المستحيل ، فأنت مستطيع تخيل ما يحدث . فلم يكن من الصعب على أن

أضع نفسي في رحلة الزمن التي تخيلها هـ.ج. ويلز ، حتى وان كنت أعلم أن القصة لا معنى لها من منظور الفيزياء ، فإذا كان سهلا على أن أتخيل السفر في الزمن ، فلماذا يستعصى على تصور الكون المنغلق ؟

وما زلت أتذكر تصميمي على ألا أحاول تصور الحقيقة المطلقة ، ولا أن أكافح من أجل نظرة الالهة علوية للكون . وبدلا من ذلك ، أكتفى بنظرة متواضعة لمسافر مسكين في الفضاء ، يحاول بشق النفس استكشاف الفضاء المنغلق من حوله . ماذا تكون خبراته ؟ حسنا ، فبمقدورة السفر في نفس الاتجاه ، والعودة في النهاية الى نفس موضعه . هذه إحدى الخواص الغريبة لكون آينشتاين المنغلق على نفسه ، ولكنه غير محدود . فعلى الرغم من استمرار عدم قدرتي على تصور كيف يمكن للفضاء أن يكون على هذه الصورة ، فقد قبلت هذه الخبرة للمسافر الفضائي . فهي مقولة . ليس هناك ما يجافى المنطق في حدوثها . وإذا كان للخبرات أن تندمج في تناسق معا ، مهما كانت غرابتها ، فمن الممكن اعتبار مجموعها معبرا عن الحقيقة .

وطبقت نفس الفلسفة على المشكلة الدائنة ، الكون المتمدد . فمثل أي شخص ، لم يمكنني استيعاب فكرة كيف يتمدد الكون ، حيث بدا لي أنه لا يوجد شيء يتمدد فيه . ولكن ما زال بمقدوري أن أتصور معنى مشاهدتي لتمدده من الداخل . تخيلت مراقبين في مكان ما بالمجرات السحابة البعد ، يتفحصون السماء ، وكل واحد يرقب بقية المجرات تتباعد عنه . ومرة أخرى ، ليس من بأس في حدوث ذلك ، حتى ولو لم يكن بالإمكان معرفة كيفية حدوثه .

أما أشد المشاكل الغاذا فكانت فكرة الأفق . كنت أعلم أن المجرات البعيدة تزداد سرعة تباعدها بزيادة بعدها عنا ، وأن هناك حدا لا يمكن بعده رؤية أية مجرات ، يسمى الأفق ( سوف نتناول هذه الخصيصة الهامة في الفصل التالي ) . فلمدة طويلة خلطت بين هذا المفهوم وفكرة حد الكون ، وكان تصوري أن عدم إمكان رؤية مجرات بعد الأفق لأنه

لا توجد هناك أية مجرات ، لا شيء سوى الخواء اللامتناهي . ولكن في النهاية أدركت أن الكون لا حد له ، وأن أية إشارة له هو ضرب من الهراء .

ولكن هذا الخطل تلاشى الكى أقع فى آخر . فقد قرأت أن تلك المجرات يستحيل رؤيتها لكونها تتراجع بسرعة أكبر من سرعة الضوء . وما زلت أتذكر وأنا جالس فى مقصف بالكلية أتناقش فى الأمر مع أحد الزملاء ، وقد قلت معترضا : « كيف يمكن لمجرة أن تتحرك بأسرع من الضوء؟ » ، فرد قائلا : « آه ، ان حد سرعة الضوء قالت به النسبية الخاصة ، ولكننا فى الفلك نتعامل مع النسبية العامة » . ولم يكن ذلك ليجدينى شيئا ، حيث لم يكن أينا قد تمكن من النسبية العامة بعد .

حقيقة ، فى الفلك نستخدم النسبية العامة ، ولكن ذلك لا يسمح بتجاوز سرعة الضوء . كان السبب فى المعضلة هو أنه لم يكن بإمكانى أدراك ذلك الا بالمفهوم الأرسطى ، فالمجرات بالنسبة لى تتحرك فى الفضاء ، باعتباره شيئا ساكنا لا حراك به ، بالضبط كما تتحرك الأسماك فى البحر الساكن . هذا التصور خاطئ تماما ، وقد استغرق الأمر طويلا الى أن أدركت أن التمدد فى الكون لا يحدث بواسطة المجرات المتباعدة ، بل ان الفضاء ذاته هو المتمدد ، مما يجعل المسافات بين المجرات تتسع .

ولا أعتقد أنى استوعبت فكرة الفضاء المتمدد تماما حتى قرأت عن نموذج ويليام دى سىتر William de Sitter للكون ، والذي لا يحتوى على شيء خلاف كون متمدد خال تماما من أية مادة ! وبالطبع ظلت لدى صعوبة تخيل تمدد الفضاء ، ولكن بما أنه يمكن تخيل أن مراقبين سوف يريان بعضهما البعض فى تباعد مستمر ، فلا بأس من تقبل الفكرة .

ومسلما بهذه الصورة ، أصبحت مشكلة تجاوز سرعة الضوء بغير ذات موضوع . فالمجرات لا تتحرك حقيقة بالمرة ، ان الأمر ببساطة أنها محتواة فى كون متمدد ، والانزياح الأحمر الشهير ليس كما قيل لنا مجرد ظاهرة دوبلر ، والتي تماثل تغير حدة الصغير لقطار مقبل قبل تجاوزه الرصيف وبعده . انه فى الواقع بسبب أن الموجات الضوئية تستطيل

مع تمدد الفضاء ، وتدرجيا قد تبلغ الاستطالة الى القدر الذى يجعل التردد يقل عن مجال الاشعة المرئية . وهذا هو الافق . فالكون وراءه لا يزال موجودا ، ولكنه غير مرئى لنا .

### بليلة اللانهاية

ربما أعقد نقطة فى الموضوع بالنسبة لى هى الانفجار العظيم ، الذى منه تولد الكون . كانت الصورة الاولى لدى هى عن كمية غاية فى التركيز من مادة فى مكان ما من الفضاء ، لسبب ما ، وفى لحظة ما ، انفجرت ، مرسلة شظاياها فى كل مكان ، لتكون فى النهاية مجرات متباعدة . وأدرك الآن مدى خطأ هذا التصور ، ولكن عذرى فى ذلك أن أول احتكاك لى بهذه النظرية كان قبل أن يتبلور مفهوم مفردة *singularity* الزمكان كما وضعها روجر بنروز Roger Penrose وستيفن هوكينج Stephen Hawking فى الستينات .

فى ذلك الوقت ، كان الدارسون للموضوع يؤكدون أن الكون يجد أصله فى مفردة فى الزمكان ، والتي هى نقطة يصل الزمكان فيها الى تقوس لانهاى ، وتتوقف عندها فعالية قوانين الفيزياء . ولم يكن من الممكن ، بحسب قولهم ، للزمان وللزمان ، أو أى تأثير فيزيائى ، أن يستمر فى المفردة ، وعلى ذلك فمسألة ماذا كان قبل الانفجار العظيم لا محل لها . فليس هناك « قبل » للحظة الانفجار العظيم ، حيث ان الزمن بدأ بها . كما أنه ، ولنفس السبب ، من غير المجدى ، أو حتى المعقول التساؤل عن سبب حدوثه .

وبعد ذلك ، حاولت تصور المفردة بتخيل كل مادة منضغطة فى نقطة واحدة . بالطبع هذه الفكرة فى حد ذاتها تذهب بالعقل ، ولكنى استطعت تخيلها . ولكنى كنت حريصا على ألا أقع فى خطأ تصور تلك النقطة محاطة بالفضاء ، فانا أعلم أن الفضاء يجب أن يكون قد انضغط الى تلك النقطة أيضا . هذه الصورة ناجحة بالنسبة لنموذج الكون المتناهى المنغلق الذى وضعه آينشتين ، حيث اننا جميعا يمكن أن نتخيل



الشيء المتناهي ينكمش الى لا شيء . ولكن تظل هناك مشكلة ظاهرة ، لو كان الكون لامتناهيا في المكان . فاذا كانت المفردة مجرد نقطة ، فكيف تتحول الى ما هو لامتناه ؟

اعتقد أن فكرة اللانهاية تبيلبيل الكثيرين منا ، ولم أتمكن على الإطلاق من تكوين تصور بديهي لهذا المفهوم . والمشكلة معقدة هنا لأن هناك بالفعل شيئين لانهايين يتصارعان : لانهاية الحجم المكاني ، ولانهاية الانكماش . فمهما ضغطت الفضاء اللانهائي ، فسيظل لانهايا . من جهة أخرى ، فأية منطقة منتهية في نطاق الفضاء اللانهائي ، مهما بلغ اتساعها ، يمكن أن تنضغط الى نقطة وحيدة في لحظة الانفجار العظيم . ليس هناك تعارض بين اللانهائيتين ، طالما أنك تحدد عن أى شيء تتحدث .

حسنا ، يمكننى أن أقول كل هذا بالألفاظ ، وأن أصوغه في معادلات رياضية ، ولكنى أعترف أننى الى اليوم لا يمكننى تصويره .

والشيء الذى أثار انتباه العالم للنسبية العامة ، وأسر خيالى ، هو بلا شك الثقوب السوداء . هذه الأشياء الغريبة لها عدة خواص عجيبة تستنفد قدرة المرء على التخيل لأقصى مداها . حين سمعت عن الثقوب السوداء لأول مرة ، كان ذلك فى أواخر الستينات . كان بإمكانى قبول فكرة انهيار نجم تحت تأثير جاذبيته ، وأنه يمكن أن يحبس الضوء بداخله ، فيبدو كثقب أسود . أما ما لم أكن أفهمه فهو ما الذى يجرى لمادة النجم . أين نذهب ؟ لقد بينت بعض النظريات أن مفردة تتكون بداخله ، ولكنها لم تتطلب أن المادة يجب أن تقابل المفردة . فاذا ما تفادت المادة المفردة ، فانها لا تستطيع مغادرة الثقب ، حيث انه ما من شيء يمكن أن يفلت منه . وبدا الموقف لى محتويا على تعارض .

الاجابة التى قدمت لى هى أن المادة تنظدر الى كون آخر . وبدا ذلك مثيرا ومهولا . ولكن ما معناه بالضبط ؟ أين يقع ذلك الكون الآخر ؟ لقد استوعبت أفكار الكون الممتد والكون المنغلق ، ولكن فكرة تعدد الأكوان أدارت رأسى . انها لعمري مسألة عويصة . ولجأت مرة ثانية الى

استراتيجيتي الا.أحاول اكتساب نظرة الية علوية ، وأتصور تجاوز مثل هذين الكونين ، وتعاملت فقط مع ما يمكن من ناحية المبدأ أن يشاهد من خلالهما .

لقد قرأت ذات مرة قصة بعنوان « الباب الأخضر » ، فيها عبر شخص بابا يؤدي به الى حديقة غناء هادئة ، تماثل فكرتنا عن الفردوس . وحين غادرها لم يجد الباب مرة أخرى ، وظل بقية حياته يبحث عنه . وذات يوم وجد بابا أخضر فعبره ، فلقى حتفه . فالجنة التي في القصة لا توجد في المكان الذي نألفه ، فالباب كان يؤدي لفضاء آخر . واستخلصت أن الثقب الأسود لابد أن يكون شيئاً من هذا القبيل . لقد استطعت تخيل تجربة الرجل مع الباب ، فلماذا لا أستطيعها مع الثقب الأسود ؟ فيمكن لك أن تمر من خلاله ثم تجد نفسك في مكان خلاف أي مكان في فضاءنا . لم يكن مهما لي أن أعرف أين هو ، كل ما يهمني أن تجربة المشاهد كانت منطقية ومتراطة .

بعد أن قصصت هذه القصة ، على أن أحذر القارئ ، وكما سنرى في الفصل التاسع ، أنك لا يمكنك المرور خلال الثقب الأسود بهذا الشكل حقيقة . فالوضع الأكثر احتمالاً أن المادة الساقطة فيه ستقابل المفردة ، ولو أن ذلك لم يثبت للآن بصفة قاطعة .

وأنا اليوم متعود تماماً على التعامل مع العالم العجيب للنسبية . فأفكار تشوه الزمن والتواء الفضاء وتعدد الاكوان هي من الأدوات اليومية للتعامل مع الفيزياء النظرية . على أن تعودى عليها قد تولد نتيجة التكرار ، وليس لكوني قد حزت مقدرة غير عادية على الإدراك . فأنا أعتقد أن الحقيقة التي تظهر لنا الفيزياء الحديثة غريبة على العقل البشري ، وتتحدى أية مقدرة على التصور . فالصور الذهنية المتولدة عن ألفاظ مثل « الفضاء المنحني » و « المفردة » هي نماذج غير مناسبة ، قيمتها فقط في تثبيت الفكرة في ذهنك ، وليس اخبارك كيف يكون العالم الواقعي بالضبط .

وفى هذا تشابه مع عالم الاقتصاد الدولى . فنحن نسمع عن ميزانية الولايات المتحدة ، وأن العجز فيها كذا بليوناً من الدولارات ، ونتصور أننا نفهم ما يعنيه ذلك . ولكن ليس منا من يمكنه تصور قدر مهول من الأموال بهذه الدرجة فى الحياة اليومية . فالألفاظ لها شىء من أشباه المعانى ، تعطينا شيئاً ما تركز عليه بينما نمر الى النقطة التالية فى المناقشة ، ولكنها لا تنقل شيئاً ذا معنى واقعى بالمرّة . فيبدو أن الفكرة اذا ما تكررت قدراً كافياً فانها تثبت فى الذهن لدرجة الاحساس بأنها مفهومة ، مهما كانت درجة غرابتها على المنطق البديهى .

ان مقدرة العقل البشرية على تقبل ما لا يتفق مع الواقع عن طريق الخيال ليعطى حرية هائلة . فالنظرية النسبية ما زالت فى بعض تفاصيلها غريبة بالنسبة لى ، كبعض خواص الاشعاع الجذبى ، ومع ذلك فالتدريب على التخلص من الحاجة للصور المبسطة أمكننى من التعامل مع هذه الموضوعات دون وجل .

وباستخدام الرياضيات كمرشد يعول عليه ، يمكننى استكشاف مناطق تتجاوز حدود الخيال للوصول الى اجابات شافية عن أشياء يمكن مشاهدتها .

ان الزهو الضمنى فى كون ادنجتون الشخص الوحيد بعد آينشتين القادر على فهم النسبية العامة لا يعنى فى رأى أنه وآينشتين وحدهما القادران على تصور المفاهيم الثورية الجديدة مثل الزمكان المنحنى ، ولكن ربما يكونا بالفعل من أوائل الفيزيائيين الذين استوعبوا أنه فى هذا الموضوع لا يأتى الفهم الصحيح الا بهجر الحاجة للتصور . هذا هو الأمر الذى قد يكون مساعداً على فهم ما نخبرنا به الفلكيات النسبوية فى شرحها لما يشاهد من تصرفات فى الكون .

## هوامش الفصل الثالث

- (١) خلاف النظرية النسبية لأينشتاين ، فالمقصود هو النسبية بين السرعات ، وليس النسبة لسرعة الضوء - ( المترجم ) .
- (٢) ذكر النجوم وليس المجرات ، حيث لم تكن المجرات خلاف درب التبانة قد عرفت بعد - ( المترجم ) .
- (٣) من الطريف أن نذكر أن ماخ قد رفض هذه النظرية عند نشرها عام ١٩١٥ ، وأنه قبل وفاته في العام التالي ، ( عن ثمانية وسبعين عاما ) كان يزعم تأليف كتاب للرد عليها - ( المترجم ) .
- (٤) يفترض أن يكون القطار طويلا بصورة خيالية حتى يظهر الفرق بين ما يراه راكب القطار والمشاهد على الرصيف ، فآثار النسبية لا تظهر الا مع الأبعاد المحسوسة بالنسبة لسرعة الضوء ، لهذا السبب لا نلاحظها في حياتنا العادية - ( المترجم ) .
- (٥) مرة أخرى نكرر أن هذا يتطلب أن يكون الطول محسوسا بالنسبة لسرعة الضوء ، أي عدة آلاف من الكيلومترات على الأقل - ( المترجم ) .
- (٦) ومن ذلك قياس الأبعاد الفلكية بالسنة الضوئية ، وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة كاملة - ( المترجم ) .
- (٧) يطلق أينشتاين على هذا المبدأ « مبدأ التعادلية » - ( المترجم ) .
- (٨) تسمى أيضا « الهندسة الريمانية » - ( المترجم ) .
- (٩) يضرب الدكتور مصطفى مشرفة - رحمه الله مثلا طريفا لتقريب تعدد الزمن للأذهان : تخيل أنك تنظر لساعة عند الثانية عشرة بعد الظهر ، لو أنك انطلقت في هذه اللحظة بسرعة الضوء متباعدة عنها ، فأنك لن ترى باستمرار سوى الشعاع القادم منها المعبر عن الساعة الثانية عشرة ، وسيبدو لك الأمر وكأن الزمن توقف عند هذه اللحظة . وبالمنااسبة فالدكتور مشرفة هو عالم مصري في الفيزياء ، معاصر لأينشتاين وكان حجة في النظرية النسبية ، وقد توفي في أوائل الخمسينات - ( المترجم ) .

## الفصل الرابع

### الكون على رحابته

ان واجب الفلكي astronomer هو أن يدرس الأشياء الموجودة في الكون . ويتضمن هذا الشمس والكواكب ، والنجوم على مختلف أنواعها ، والمجرات والمواد ما بين النجوم . وفي المقابل ، فالكوني cosmologist ( عالم الكونيات ) أقل اهتماما بالتأثير التفصيلي للكون ، منه بالهيكل العام له . فعلم الكونيات يتعامل مع كيفية نشأة الكون ككل ، وكيفية نهايته . ويعنى الكوني بكلمة « الكون » كل شيء ، الفضاء الفيزيقي بأكمله ، الزمن والمادة . ويختلف علم الكونيات عن العلوم الأخرى في أن موضوعه أمر وحيد ، وهو الكون . وان كانوا أحيانا يشيرون الى أكوان أخرى . فهم في الواقع يشيرون الى تجريدات رياضية قد لا تحمل ، مثل كون جوديل الدوار ، الا القليل من العلاقة بالعالم الواقعي .

ويعتمد الكونيون على أعمال الفلكيين لرسم تصورهم عن الكون . كما أنهم أيضا يستخدمون قوانين الفيزياء لنمذجة التغيرات التي تحدث مع تطور الكون ، وفي محاولة التنبؤ بالمصير النهائي له . ويميل الكونيون اليوم الى تأمل الظروف الأولية لنشأة الكون ، بالإضافة الى القوانين ذاتها . وقد بدأ علم الكونيات في العشرينيات من هذا القرن ، حين اكتشف ادوين هابل Edwin Hubble أن الكون يتمدد، وهو الاكتشاف الذي تماشى مع توقعات النسبية العامة ، توقع أجهد آينشتين ذاته ، والذي كان يعتقد أن الكون في حالة سكون ، في التحايل عليه في نظريته . وقد أدى المزيج

من اكتشاف هابل مع النسبية العامة الى نتيجة عظيمة ، مفادها أن الكون غير سرمدى النشأة ، بل لابد أن يكون قد خلق خلقا فجائيا منذ عدة بلايين من السنين ، فى انفجار مهول نسميه اليوم الانفجار العظيم . وأكثر جهود الأبحاث اليوم ، كما ذكرنا من قبل ، موجهة تجاه فهم المراحل الأولى التى أعقبت الانفجار العظيم ، ومحاولة ربط الخصائص المشاهدة حاليا بالعمليات الفيزيائية التى تمت فى هذه المراحل (١) .

### التمدد دون مركز

لم يكن مع ذلك لعلم الكونيات أن يوجد كموضوع محدد لو لم يكن بإمكاننا الحديث عن الكون كوحدة واحدة . ويعتمد هذا بدوره على حقيقة هامة مبنية على المشاهدة ، فبمقياس كبير ، تتوزع الطاقة والمادة بانتظام مثير للدهشة خلال الكون . و « المقياس الكبير » هنا يعنى حجوما أكبر من حجم كوكبة من المجرات ، أى ما يوازى تقريبا مائة مليون سنة ضوئية . هذا الانتظام يعنى ضمنا أن الكون متشابه بالنسبة لأية مجرة خلاف مجرتنا ، فليست هناك أية صورة للتمييز لموقعنا فى الكون . والأكثر من ذلك ، فهذا الانتظام ثابت مع الزمن ، وبالتالي فمجرتنا تشارك بقية المجرات فى مجرى حياتها .

ما علاقة هذا بمفهوم الكون المتمدد ؟ بل كيف فى الواقع ندرك أن الكون متمدد ؟ الشاهد المباشر يأتى من تفحصنا للضوء الذى نستقبله من المجرات البعيدة ، فقد وجد هابل أن الضوء يميل بانتظام الى التزحزح تجاه اللون الأحمر من الطيف . ويعنى هذا أن الموجات الضوئية تتمدد بما يشبه نفس ما يحدث للذرات على الأرض . ف « الانزياح الأحمر » يعنى للفيزيقي تحركا لمصدر الضوء بعيدا عن المشاهد . هذا ما فسر به هابل الظاهرة . فقد استخلص أن المجرات تفر بعيدا عنا بسرعة فائقة . وكما رأينا ، لقد توافق ذلك مع المتطلبات الأساسية لمعادلات النسبية العامة .

ويطلق على المجرات أحيانا اللبئات الأساسية للكون . وتباعدها عنا هو الذى يحدد التمدد الكونى . ففي داخل المجرة ، لا يوجد تمدد . ومجرتنا ، درب اللبانة ( أو التبانة ) ( Milky way ) تتكون من مائة بليون من النجوم موزعة على قرص مسطح ، يدور ببطء حول مركزها . هذه المجرة تنتمى الى نوع يسمى المجرات الحلزونية ، أو القرصية ، بسبب شكلها . وهناك أشكال أخرى للمجرات . ولكنها لا تعنى الكونيين كثيرا .

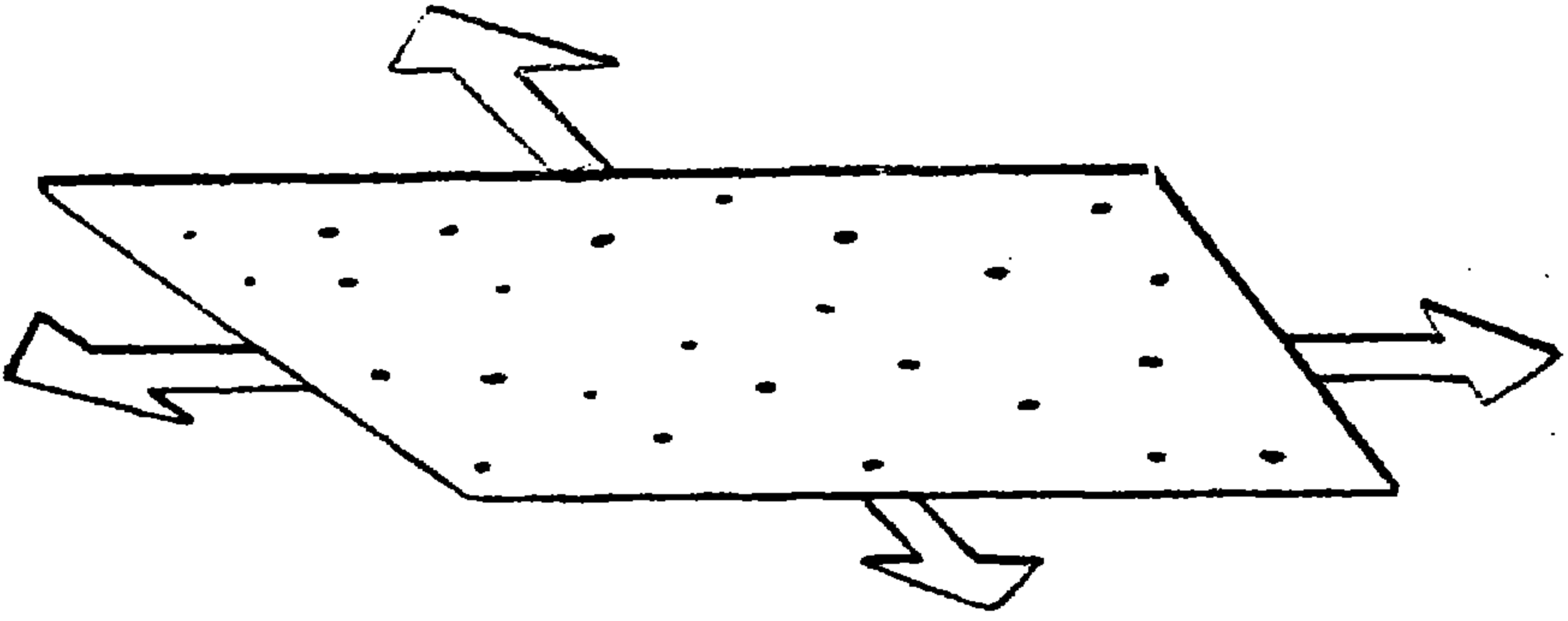
وهناك ميل للمجرات للتجمع فى كوكبات clusters ( بأعداد تتراوح بين عدد قليل الى آلاف المجرات ) ، متماسكة بفعل التجاذب فيما بينها ، وهذه الظاهرة أكثر اثارة للكونيين . وحيث ان هذا التجمع يناهض التمدد الكونى ، فانه من الأدق أن نعتبر الكوكبات المجرية هى اللبئات الأساسية للكون .

وقد لاحظ هابل أن المجرات الأكثر خفوتا فى مرصده هى الأكثر احمرارا فى طيف ضوئها . وحيث ان الخفوت دليل على زيادة البعد ، فان ذلك يعنى أنه كلما زاد بعد المجرة زادت سرعة تباعدها . وقد أكدت الدراسات التالية صحة ذلك ، وأن السرعة تتناسب مع البعد ، بمعنى أن المجرة التى يبلغ بعدها عنا ضعف أخرى ، تتباعد بسرعة ضعف سرعة الأخرى ، وهى علاقة تسمى (قانون هابل) . والرقم المحدد بالضبط لمدى سعة التباعد عند مسافة معينة يعتبر من الأرقام الهامة فى علم الكونيات، يطلق عليه «ثابت هابل» . ورغم أن قيمته الدقيقة لا يمكن معرفتها من خلال رصدنا المحدود ، فان أغلب الكونيين يقبلون رقما ٥٠ كيلو مترا فى الثانية لكل ميجابارسك ( فرسخ نجمى ) ، البارسك Parsec يساوى ٣٢ سنة ضوئية ، وهذا يعنى أن مجرة تبعد عنا بمقدار ١٠ ميجابارسك تتباعد بسرعة ٥٠٠ كيلو متر فى الثانية .

### فى البعد

هذه العلاقة البسيطة بين البعد وسرعة التباعد هى المضمون العميق لطبيعة التمدد الكونى . انها تعنى أن الكون يتمدد بنفس المعدل فى كل

مكان : فبالنظر اليه من أية مجرة سيكون نمط الحركة هو نفسه بقدر كبير . فمن الخطأ أن نتصور أننا ، كما يتخيل كثير من الناس ، في مركز التمدد . فرغم أن المجرات تتباعد عنا ، فانها أيضا تتباعد عن بعضها البعض ، وحيث ان الحركات تخضع لقانون هابل فالمجرات المرئية لأية مجرات أخرى تتباعد عنها بنفس الطريقة التي تتباعد عنا . ليس من مجرة في وضع متميز لتكون مركز التمدد .



شكل (٢٠) يمكن تصوير الكون المتمدد بقطعة مطاطية مسطحة تمط في كل الاتجاهات بقدر متساو ، وهنا تمثل القطعة المطاطية الفراغ ، والنقاط عليها تمثل المجرات . وبينما يمتد « الفراغ » تتباعد المسافات بين المجرات ، ولكن المجرات ذاتها لا تتحرك في الفراغ ، ولا تتباعد عن مركز مشترك .

ولو كان صعبا عليك أن تتصور ذلك ، فربما كان المفيد لك أن تتصور قطعة مسطحة مطاطية ، مغطاة بالبقع التي تمثل المجرات . تخيل انها تمط في كل الاتجاهات ( الشكل ٢٠ ) . تكون النتيجة أن كل بقعة تباعد عن البقع الأخرى ، بالضبط كحالة المجرات في الكون المتمدد . والأكثر من ذلك فان هذا النظام سيخضع لقانون هابل ، كلما زادت المسافة بين بقعتين ، زادت سرعة التباعد بينهما .

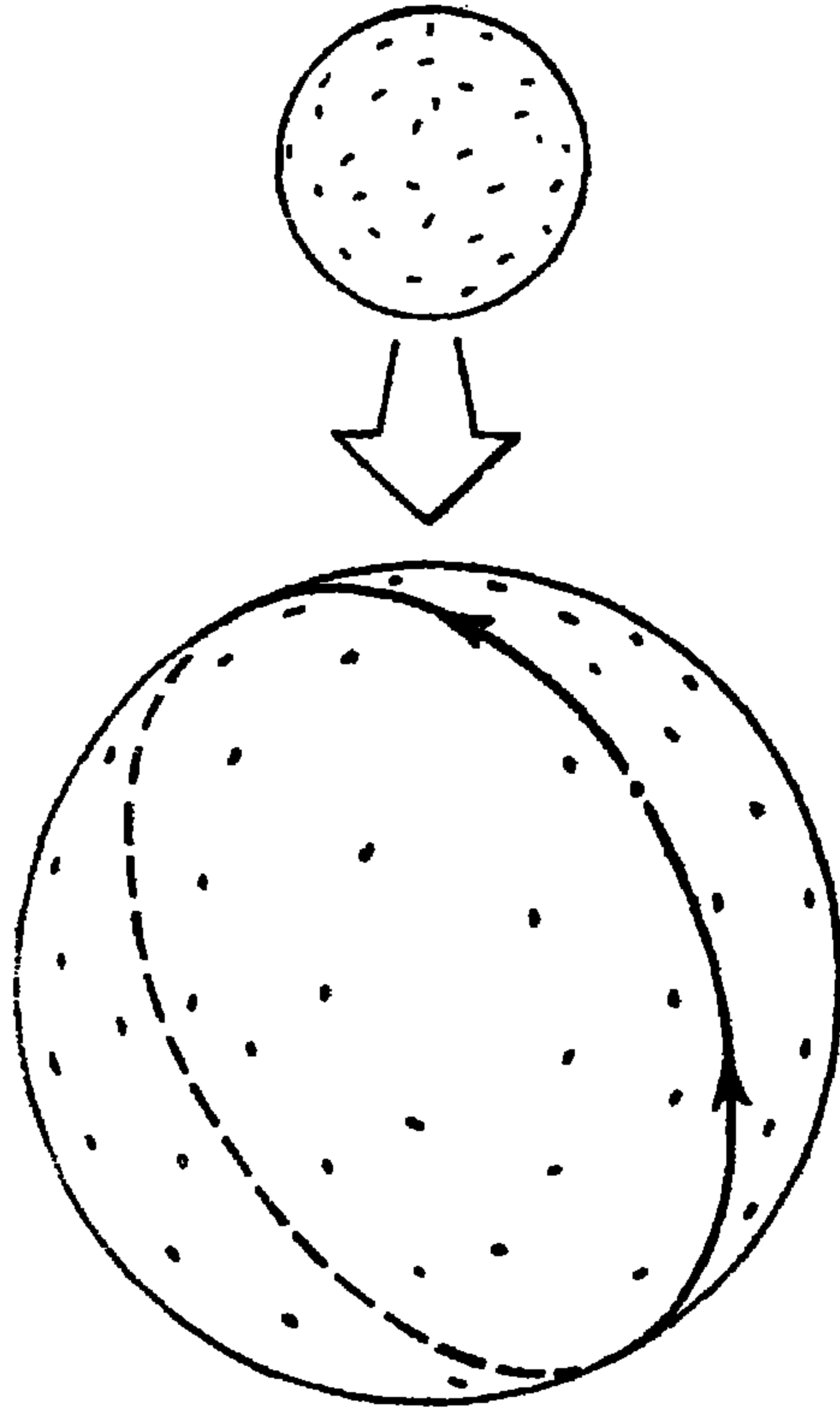
ويمكن الاعتراض على ذلك بأن البقع تتباعد عن مركز معين ، وهو مركز القطعة المطاطية . لكن لو كانت القطعة من الكبر في المساحة بحيث لا يمكنك أن ترى حوافها ، فلن يكون لك وسيلة تعرف بها أي من البقع قريب من المركز وأيها بعيد عنه ، من مجرد مراقبة التباعد . ولو كانت القطعة لامتناهية ، ففعلا لن يكون هناك معنى لفكرة الحواف أو المركز .



وفي الكون الواقعي . لا توجد أدنى إشارة لكون مجموعة من المجرات لها حافة في أى مكان ، ومن ثم لا يوجد سبب للحديث عن مركز للكون ، أو منطقة تتباعد عنها المجرات .

ومع ذلك ، فلا يملك المرء نفسه من التساؤل عن وجود حافة للكون في مكان ما ، فيما وراء قدرة مراقبنا . فبداية لانعلم يقينا أن المجرات تملأ الكون الى درجة اللانهاية . ولكن حتى لو كان الكون غير لانهاى ، بل شاسع فى امتداده فقط ، فهناك تصور تكون فيه فكرة الحواف بدون معنى . فباعتبار أن سرعة التباعد تزداد مع المسافة ، فانه عند حد معين ستتجاوز السرعة سرعة الضوء ، وكما بينا فى الاعتراف الملحق بالفصل السابق ، ليس فى ذلك أى خرق للنسبية . وأيضا التمثيل بقطعة المطاط مفيد هنا ، فعلى الرغم من كون كل بقعة تتحرك مع مط القطعة ، فانها تفعل ذلك فقط لأن القطعة تمط ، فليست للبقع أية حركة بالنسبة لمادة القطعة . وبنفس الطريقة ، من الأفضل تصور المسافات بين المجرات تمط ، جاعلة المجرات تتباعد ، عن تصور المجرات تتحرك فى الفضاء . هذه المرونة للفضاء ، كخصيصة تنبع من النسبية العامة ، تسمح بأن تتباعد المجرات واقعا بأسرع من سرعة الضوء ، دون أن تمر مجرة عبر الأخرى بهذه السرعة ، وهو ما لا تسمح به النسبية . وعلى ذلك فالانزياح الأحمر يحدث بسبب تطلب زمن أكبر لوصول الضوء الى الأرض ، فالفضاء البينى قد تمط بعض الشيء ، ومطت معه الموجة الضوئية .

ومن الواضح أننا لا يمكننا أن نشاهد المجرات المتباعدة بأسرع من سرعة الضوء ، حيث ان اشعاعها يستحيل أن يصل إلينا . ومن ثم فنحن غير قادرين على الرؤية بعد حد معين ، مهما بلغت قوة مراقبنا . والحد الذى لا يمكننا تجاوزه فى الرؤية ، ولو من ناحية المبدأ ، يطلق عليه الأفق horizon . وكما الأفق على الأرض ، فهو لا يعنى أنه لا شىء وراءه ، فقط عدم رؤية ما وراءه من موضعك مهما كان . ومن المؤكد أنه لا توجد حافة للكون على بعد مثل أفقنا ، وأية حافة بعده قد توجد من ناحية المبدأ خارج حدود رصدنا ( على الأقل فى هذه الحقبة ) يمكننا تجاهلها ، فهى بغير ذات أهمية للكون المرئى .



شكل (٢١) من الممكن أن يكون الفراغ مغلقا محدود الحجم .  
ولكن بدون حواف . ويمثل ذلك بسطح بالون مطاطي يمثل الفراغ ،  
وتمثل النقاط عليه المجرات ، كما في شكل ٢٠ ، ويمثل تمدد  
الكون نفخ البالون . في الشكل السفلي يمثل الخط الميّن مسار  
يحيط بالكون .

ولكن هناك امكانية ألا تكون هناك حواف من ناحية المبدأ . ان  
القطعة المطاطية المضروبة كمثل تشبه فضاء علماء الهندسة الاغريق ، في  
امتدادها اللانهائي . ولكن لو تخيلناها قد تكورت على شكل بالون ،  
فما زال بإمكاننا تخيل البقع التي تمثل المجرات ( أو كوكباتها ) ، وأن  
البالون يتمدد حاملا المجرات بعيدة عن بعضها البعض ( الشكل ٢١ ) .  
هنا لا توجد حواف ، بالضبط كما لا توجد حواف للأرض . هذا النموذج  
للكون يوصف بأنه « مغلق » ، لأسباب واضحة . والنموذج البديل هو  
الكون الممتد بلا نهاية ، ويوصف بأنه « مفتوح » .

هل هناك أية دلالة تشير الى أن الكون مفتوح أو مغلق ؟ من ناحية المبدأ يمكننا الحكم على ذلك بإجراء بعض التجارب الهندسية . فلعلك تذكر ما قلناه من أن الهندسة غير المستوية تختلف عن الهندسة الاقليدية للأسطح المستوية . وحيث انه بإمكاننا الحكم على كروية الأرض برسم مثلث على سطحه ، فان قياس زوايا مثلث يتخيل رسمه في منطقة هائلة في الكون ، يمكننا من الحكم على كيفية انحناء الكون من ناحية المبدأ . مثل هذه الآثار قد بحث عنها ( مثلا بعد المجرات في حجوم كروية بأنصاف أقطار متزايدة ) ولكن آثارا أخرى طغت عليها .

ومع ذلك ، فهناك طريقة واعدة بدرجة أكثر ، وان كانت غير مباشرة، لتحديد اذا ما كان الكون مغلقا أو مفتوحا . فوجود المادة هو ما يحدد تقوس الفضاء ، وكلما زادت المادة في الكون زاد أثر جاذبيتها في تقوس الفضاء بين المجرات . وهناك كثافة حرجية ، تساوى تقريبا ذرة هيدروجين في كل لتر من الفضاء ( حوالى  $10^{-27}$  جراما لكل سنتيمتر مكعب ) تمثل الحد بين انغلاق الكون وانفتاحه . فمادة بكثافة أكثر من هذا الحد ، طبقا للنسبية العامة في صورتها المعتادة ، تعنى أن الكون مغلق .

وتشير المشاهدات ، ونعنى بها عدد المجرات في حجم معين من الكون ، الى أن كثافة المادة أقل من الحد الحرج بدرجة ملموسة . ولكننا نعلم أيضا ، من طريقة تحرك المجرات في كوكبات ، وتحرك النجوم داخل المجرات ، ( في الحالتين بصورة غير متأثرة بتمدد الكون ) أنه توجد كمية كبيرة من المادة في الكون في صور غير مرئية لنا ، تمارس جديا على تلك المجرات . ولسنا حاليا ، على أساس ما لدينا من مشاهدات ، في وضع يسمح لنا أن نجزم اذا كان الكون مغلقا أم مفتوحا ، ولكنه يقف حاليا عند الخط الفاصل . ومع ذلك ، فدراسات الظروف الأولية للكون توحي بأن الكون يجب أن يكون مغلقا ، على أسس نظرية ، كما سنرى في الفصل الخامس ، ويعطى النموذج التضخمى للانفجار العظيم احياء في نفس الاتجاه أيضا .

علينا أولا أن نعطي مزيدا من الشرح حول ما يعنيه مفهوم الانفجار العظيم في علم الكونيات . من المفهوم أنه إذا كانت المجرات تتباعد عن بعضها البعض ، فمعنى ذلك أنها كانت متقاربة . ومدا لهذا المنطق الى مداه ، يلوح للمرء أنه لابد أن كان هناك زمن كانت مادة الكون فيه منضغطة معا . ومن الأخطاء الشائعة في فهم الانفجار العظيم والكون المتمدد أن هذه المادة المنضغطة الأولية كانت موجودة في مكان ما من الخواء السابق على الكون ، وأن شظايا هذه الـ « البيضة الأولية » ، وقد تناثرت اثر الانفجار ، تتطاير الآن متباعدة عن مركز مشترك في الفضاء المحيط بها . فكما قدمنا ، فالتمدد يستحسن فهمه على أنه في الفضاء ذاته ، حاملا المجرات معه . وعلى ذلك فحين كانت كل مادة الكون متجمعة معا ، كان ذلك لأن الفضاء بين المجرات كان متقلصا (أو بالأحرى لم يتمدد بعد) . فالفضاء نفسه ، شأنه في ذلك شأن الزمن والمادة ، خلق في لحظة الانفجار العظيم ، فلم يكن هناك « خارج » حدث فيه الانفجار !

من قانون هابل يمكننا أن نستخلص معدل تمدد الكون . ونحسب الى الخلف متى بدأ التمدد ، الزمن الذي كانت المادة فيه منضغطة في مكان واحد . ويخبرنا قانون هابل البسيط أن ذلك كان من عدة بلايين من السنوات ، ومع ذلك ، فهناك أمر دقيق يجب أخذه في الاعتبار . فالكون لا يتمدد على حريره ، ولكنه خاضع للجاذبية . ويستتبع ذلك أن معدل التمدد ينخفض بالتدرج . وعلى ذلك ، فقد كان الكون يتمدد بمعدل أسرع في البداية . وبأخذ ذلك في الحسبان يكون الانفجار العظيم قد حدث منذ عشرة بلايين من السنوات مضت .

ولانخفاض معدل تمدد الكون تأثير هام آخر ، فالمجرات التي تكون متباعدة بأسرع من سرعة الضوء ، ستتناقص سرعتها لتدخل دائرة الرؤية ، بما يعنى أن الأفق الكوني يزداد اتساعا بمرور الوقت ، وأن المجرات التي نراها تزداد عددا حتى وهي تتباعد عنا .

وإذا ما أخذنا صورة الكون المتمدد حرفيا ، وأعدنا الشريط للوراء بالقدر الكافي ، فإن حجم الفضاء الحالى يكون قد انضغط للصفر في

البداية ، بمعنى أن الكون كان فى حالة انضغاط لانهاى ، مع ضغط كل مادة الكون فى نقطة واحدة ، ويطلق الكونيون على هذه النقطة « مفردة singularity » . وطبقا للنسبية العامة، فان هذه المفردة تمثل حدا للزمن والفضاء ، لا يمكن رد أى منهما لما وراءها ، فهى بذلك حافة للكون ، وان كانت حافة زمنية وليست مكانية . ولهذا السبب يعتبر الانفجار العظيم ممثلا لأصل العالم الفيزيقي بأكمله ، وليس كأصل للمادة فقط .

ويصبح التساؤل : ماذا حدث قبل الانفجار العظيم ؟ سؤالا بلا معنى، حيث لم يكن هناك « قبل » . ومثله « أين حدث ؟ » ، فلم يكن هناك مركز للكون أو حافة ، كما نعرفهما فى حياتنا اليومية ، فالانفجار لم يحدث فى الفضاء ، بل هو المنشئ الدرامى له .

وهذه نقطة غاية فى الأهمية ، نريد أن نزيدها إيضاحا ، حيث انها مصدر لبس كبير ، بالرجوع لمثال البالون . تخيل أن قطر البالون واصل التقلص ، وهو ما يمثل العودة للانفجار العظيم ، ومادة البالون تمثل الفضاء ذاته ، والبالون يزداد صغرا فى الفضاء . ففي النهاية التى يصل فيها القطر للصفر ، فان مساحة سطح البالون تكون قد تلاشت ، ويكون الكون ، بفضائه وكل ما فيه ، ببساطة قد تلاشى فى هذه النقطة . لقد كان الانفجار خلقا فجائيا للكون من العدم بمعناه الحرفي ، لا فضاء ولا زمن ولا مادة .

## الزمن والكون

يا لها من نتيجة عجيبة تلك التى وصلنا اليها ، الكون بازغ للوجود بهذه الصورة من الاشياء !! . وهى نتيجة وصلنا اليها من خلال صورة مثالية ، فيها يؤخذ قانون هابل على أنه يطبق بكل دقة على كون متماثل الأرجاء تماما . والواقع أن الكون ليس بهذا التماثل ، فالمادة تتركز فى مناطق دون الأخرى ، كالمجرات . والأكثر من ذلك ، فانه يبدو أن معدل التمدد ليس بنفس الدقة فى كافة أجزاء الكون . وقد يبدو من الوهلة الأولى أن هذا الحيود عن المثالية يفسد استنتاجنا عن وجود مفردة تشكل

حدا لماضى الكون ، اذ قد نتصور أنه مع عدم التماثل لن تصل كافة أجزاء الكون بالضرورة الى نفس النقطة فى نفس الوقت حتى تتكون تلك المفردة . ولكن الواقع أنه من السهل اثبات أن تكون المفردة شيئا لا مندوحة عنه حتى فى كون غير متماثل الأرجاء ، طالما أن تأثير الجاذبية يمارس قوته فى اتجاه التجاذب .

ذلك أن هذه المفردة قد شجعت بعض الكونيين على افتراض صورة من الجاذبية المضادة يمكن أن تتكون فى ظل الظروف الاستثنائية للانفجار العظيم تمنع تكونها . ومن التصورات المحتملة أنه قبل الانفجار العظيم كان الكون منكشاً بصورة ما ، ومع زيادة التقلص تحولت الجاذبية الى جاذبية مضادة جعلت الكون يرتد متمسدا ، وهى المرحلة التى نشاهدها الآن .

ولكن هذا يزيل مشكلة فى مقابل خلق أخرى ، فلو أن الكون لم يخلق فى لحظة محددة من مفردة ، فان ذلك يعنى أنه سرمدى الوجود ، وهذا يستتبع أن العمليات الفيزيائية كانت نشطة منذ الأزل . ولكن المؤكد أن هذه العمليات محدودة الأثر وغير قابلة للاسترجاع . فالنجوم ، على سبيل المثال ، لا تضىء للأبد ، فمآلها الى استنفاد وقودها منهارة على نفسها ، ربما الى ثقب أسود . ومخزون المادة لتكوين نجوم جديدة محدود ، ومن ثم فلا يمكن أن تكون هذه العمليات اللانعكاسية مستمرة الوجود منذ الأزل .

وقد يرد على ذلك بالقول ان مرحلة التحول الى التمدد تبخر المادة تماما ، ثم تعيد تشكيلها ، ماحية كل أثر للمرحلة السابقة . ولكن هذا يعارض مبدأ جوهريا فى الفيزياء ، يسمى القانون الثانى للديناميكا الحرارية (الثيرموديناميكا) ، والذي يضع قيدا صارما على ما يمكن تحقيقه من عملية دورية . وعلى وجه الخصوص ، فهو يمنع ، كما سنرى بعد قليل ، أية عملية تعيد الكون كما كان بالضبط فى مرحلة سابقة . وهذه الأسباب يميل أغلب الكونيين الى الاعتقاد بأن الكون ذو عمر

محدود ، وأن الانفجار العظيم يمثل بالفعل بداية خلقه من العدم .  
والنتيجة المترتبة على ذلك بالضرورة هي أنه بما أن للكون « ميلادا » ،  
فلا بد وأن له « وفاة » .

## هل الكون يموت ؟

ترتبط اجابة هذا السؤال ارتباطا وثيقا بعلم الديناميكا الحرارية ،  
وبفهمنا لطبيعة الزمن . ذلك أنه مهما كان اختلاف المشاهدين لطبيعة  
« الآن » ، فانه اذا كان للكون ميلاد في لحظة ما ، وموت مرتقب في لحظة  
أخرى ، فانه يكون لدينا مؤشر أساسى لسريان الزمن بين البدء والنهاية .

وقد بدأ مفهوم الموت المحتمل للكون على يد عالم الفيزياء الألماني  
هيرمان فون هلمهولتز Hermann von Helmholtz ، فى عام ١٨٥٤ .  
فقد أعلن عن المصير المحتوم للكون ، على أساس من مبادئ علم واليد هو  
الديناميكا الحرارية ، وعلى وجه الخصوص القانون الثانى منه ، والذي  
ينادى بالنصر النهائى للفوضى والعشوائية على النظام . لقد تصور الكون  
وقد بدأ منضبطا تماما ، ثم أخذ فى الانزلاق التدريجى المحتوم نحو  
ما نطلق عليه « الموت الحرارى » ، حالة من الاتزان الحرارى بين كافة  
أرجاء الكون ، بعد أن استهلكت كافة صور الطاقة المفيدة ، وتحولت الى  
طاقة مشتتة ، مما يستحيل معه اجراء أى نشاط مفيد . هذا الانزلاق  
وحيد الاتجاه من النظام الى العشوائية يمثل اتجاها واحدا للزمن ، يميز  
بين الحاضر والماضى والمستقبل ، سهم مألوف لنا تماما فى حياتنا اليومية ،  
من حقيقة أن الأشياء يصيبها القدم ، المعادن تصدأ ، والناس تشيخ ،  
وهكذا . فهذا السهم ثابت على المستوى الكونى ، بادئا من الانفجار العظيم  
طبعاً . الا أن هلمهولتز لم يكن يعلم شيئا عن هذا النموذج لبدء الكون  
حين صاغ نظريته .

وكمثال بسيط لاستحالة التحرك التلقائى من الفوضى للنظام ،  
تصور أوراق اللعب وقد خلطت بعد ترتيب وتصور استحالة عودتها  
لأصلها بمجرد الاستمرار فى عملية الخلط . فزيادة الخلط تؤدي حتما

لزيادة العشوائية ، ولن تعيد الترتيب مرة أخرى . ولو أننا اطلعنا على شريط سينمائي مبين به لحظة الترتيب ، فسنعلم بالبديهة اذا كان سريانه صحيحا أو منعكسا ، بحسب ما اذا كانت لحظة الترتيب هي البداية أم النهاية .

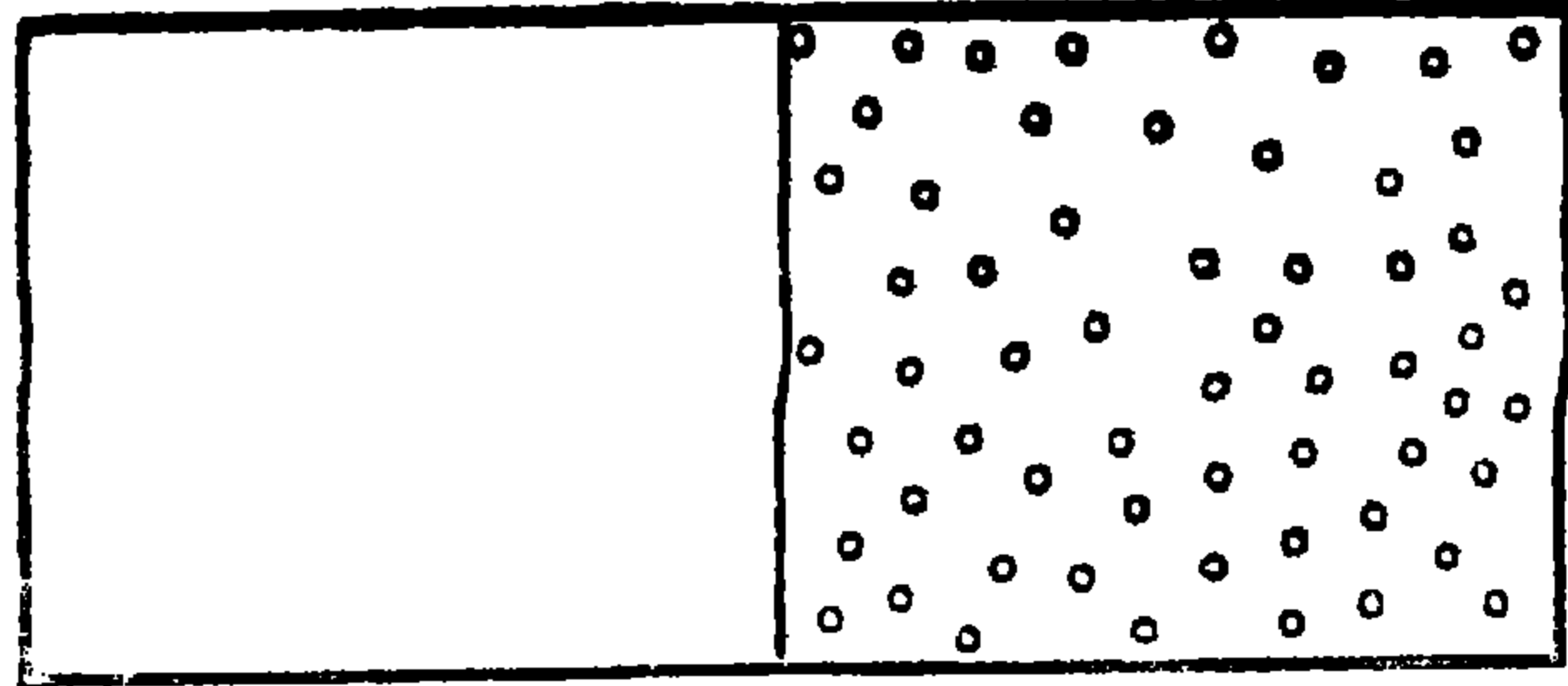
أما اللقطات المتوالية للأوراق وهي غير مرتبة فلا تظهر لنا فى أى اتجاه يتحرك الشريط . ونستخلص من ذلك أنه اذا كان بإمكاننا تحديد فى أى اتجاه يتحرك الشريط ، فإن سهم الزمن يكون فعلا ، أما لو تعذر علينا ذلك ، وبدأت العملية منطقية فى أى من الاتجاهين ، فانه لن يكون للزمن معنى ، أو بمفهوم معين ، يكون الزمن قد توقف .

ومن السهل أن نعطي وصفا كميا لدرجة العشوائية فى النظم الفيزيائية . وهو ما يطلق عليه « الانتروبيا » ، وفى النظم المغلقة ، لا يمكن لها أن تقل . وشرط كون النظام مغلقا هام للغاية . وفى النظم المفتوحة ، يمكن للانتروبيا أن تقل ، ولكن على حساب زيادتها ( زيادة العشوائية ) فى نظام آخر . خذ مثلا تكون البلورات ، فعملية التبلور ينتج عنها فقد حرارى يتشتت فى الكون ، مزيدا من الانتروبيا فيه .

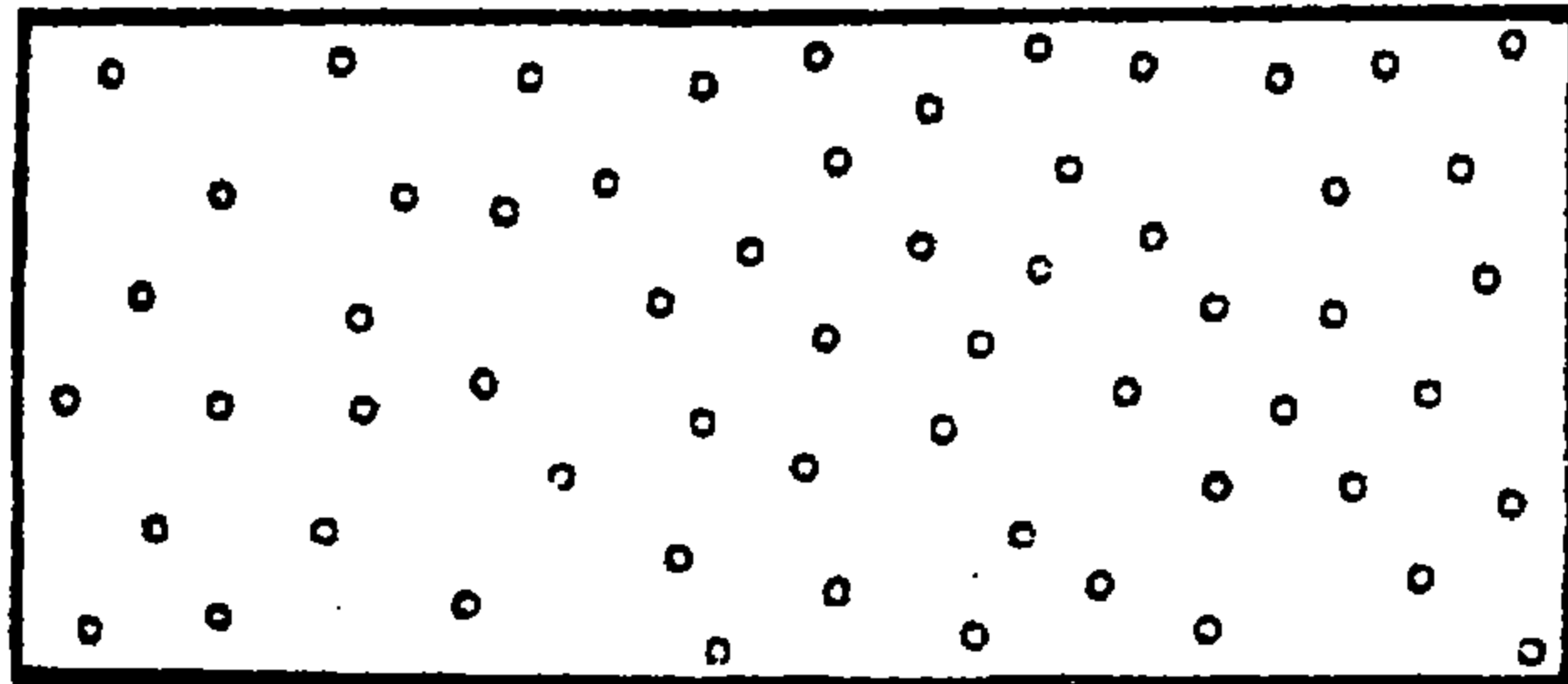
وكان أول بحث فى سهم الزمن على يد لودفيج بولتزمان Ludwig Boltzmann ، والذي درس السلوك الاحصائي لأعداد الجزيئات الكثيرة . وتبين معادلته من أول نظرة أن الانتروبيا فى صندوق ممتلئ بالغاز تزداد باطراد لو تركت جزيئات الغاز تنتشر فى عشوائية . بمعنى أن العشوائية تثير مزيدا من العشوائية بين جزيئات الغاز . ولكن هذا يثير تناقضا على الفور ، فقوانين الحركة المطبقة على الجزيئات ( قوانين نيوتن ) مبنية على الانضباط ، فهي متماثلة بالنسبة للزمن ، فمن ناحية المبدأ يمكن عكس سهم الزمن ( تخيل حركة كرات البلياردو ) دون اخلال بها . ولكن انعكاس سهم الزمن بالنسبة للصندوق يؤدي لتقليل العشوائية ، وانخفاض الانتروبيا ، فكيف تحايل بولتزمان على تماثل الزمن فى حالة النشاط الجماعى للجزيئات ؟



فى الحقيقة ان صندوقا ممثلنا بجزيئات الغاز ويتبع قوانين نيوتن تماما لا يشترط له أن يحتوى على سهم الزمن . فمن المحتمل ، بعد قدر مبالغ فى طوله ( أطول من زمن الانفجار العظيم بكثير ) ، أن نتصور أن الحركة العشوائية الدائمة تمر بكل الحالات المتاحة ، بالضبط كتخيلنا أن استمرار خلط الأوراق لفترة غاية فى الطول يمكن أن يعيد ترتيبها . ان ما تبينه حسابات بولتزمان حقا هو أنه اذا كان الغاز فى درجة من الانتظام المقابل لانثروبيا منخفضة فى لحظة معينة ، فان الاحتمال الأكبر هو أن تكون اللحظات التالية فى اتجاه يصل بها الى توازن من عشوائية كاملة ، أو درجة قصوى من الانثروبيا . ولكن هذا ليس توازنا مطلقا ، فالتغيرات الاحصائية ستحدث بحيث يجد الغاز نفسه وقد عاد الى حالته الأولى من الانضباط ، وتعاد الدورة . ولكن هذا يقتضى وقتا غاية فى الطول .



(1)



(2)

شكل ( ١ ٢٢ ) غاز محتوى فى نصف صندوق ( ب ) حين يزال الفاصل ، يتمدد الغاز ليملا الصندوق بأكمله . الحالة الأولى أكثر انتظاما عن الثانية ، وبالتالي فهي أقل من حيث الانثروبيا . والتحول غير الانعكاس من حالة الانثروبيا المنخفضة الى المرتفعة تمثل سهم الزمن الترموديناميكى .

اذن ، ما مصدر سهم الزمن الذى نلقاه فى حياتنا اليومية ؟ تكمن الاجابة ليس فى قوانين الحركة الجزيئية ، بل فى الظروف الأولية

للغاز . فقد أثبت بولتزمان أنه إذا كان غاز ما في درجة انضباط نسبية ، فان الانتروبيا فيه سوف تكون زيادتها أكثر احتمالا ، ولكن الموضوع الحقيقي هو كيف تحقق النظام في البداية . في الواقع لم يكن ذلك أبدا نتيجة انتظار فترة غاية في الطول ، ولكن بسبب أن الكون بأكمله يتقدم من مرحلة منخفضة الانتروبيا الى أخرى مرتفعة فيها . ويمكننا هذا من أن نخلق وضعاً يكون فيه الغاز ، مثلاً ، محتوي في حيز من صندوق مزود بفواصل محكم ، كما هو مبين في الشكل ( ٢٢ ) . وفي هذا الصندوق توجد درجة من لنظام تصبح غير موجودة لو أزلنا الفاصل ، وملاً الغاز الصندوق بأكمله . وتحقيق هذا القدر من النظام الأولى لم يتم بلا تكلفة ، بل نتيجة نشاط عمدي ، من صناعة الصندوق واحكام الفاصل فيه ، هذه الأنشطة زادت من الانتروبيا للكون بأكمله . والانتروبيا المنخفضة المتمركزة في جزء من الصندوق هي وقتية ، تزال عندما يخل باحكام الفاصل بين الجزئين ويتسرب الغاز ليملاً الصندوق ، مما يرفع الانتروبيا مرة أخرى .

كل ذلك ممكن لأن الأرض نظام مفتوح ، تغمره الطاقة التي يأتي القدر الغالب منها من الشمس ، والتي هي مثال كلاسيكي للتوازن الديناميكي الحراري ، كرة مدمجة من غازات حارة تبث طاقتها الهائلة في اتجاه الانعكاس في الفضاء البارد من حولها . وسهم الزمن الذي نقابله في حياتنا اليومية هو بسبب قربنا من هذا المصدر الهائل من الطاقة في السماء ، والذي يمثل دلوا من الانتروبيا السالبة يمكننا الغرف منه لنعيد النظام على كوكبنا .

ولكى نتتبع نشأة سهم الزمن الى منشئه ، علينا أن نعرف كيف وصلت الشمس لحالة من الانتروبيا أقل من الحالة القصوى ، والتي تسمح لها ، بل وتضطرها ، الى بث طاقتها في الفضاء . وحيث ان الشمس هي نجم مثل كثير غيرها ، فالمسألة كونية . كيف يوجد الكون حالياً في مرحلة عدم توازن ، فيه طاقة متمركزة في أماكن دون الأخرى ؟!

وليس هذا السؤال جديداً ، فقد طرحه من قبل ، وبصيغة مختلفة جديلاً ، الفلكي السويسري في القرن الثامن عشر جين فيليب دي شاسو

Jean-Phillip de Cheseaux، تم أعاده بعد قرن الألماني جيرمان أولبرز German Olbres، قبل أن يحل أخيرا في القرن العشرين . واللغز الذي حير دى شاسو وأولبرز ، من بين آخرين ، هو أنه لو كانت النجوم تبث اشعاعها الحرارى وضوءها منذ الأزل ، لكانت المناطق بينها ممتلئة بالاشعاع ، ولبدت السماء مضيئة على الدوام . ورغم أن المسألة لم تطرح بهذه الصياغة حتى القرن الحالى ، فان قدرا من اللغز يكمن فى كون الفضاء أبرد من النجوم ، لماذا لم يتحقق التوازن الترموديناميكى للكون ؟

وتأتى الاجابة ليس من تطبيق قوانين الفيزياء على الكون اليوم ، بل كما كان فى ظروف نشأته الأولى . ولم تكن الصياغة الأولى تتضمن ظروفها أولية ، حيث كان ينظر للكون على أنه سرمدى . هذه النظرة لم تعد سارية اليوم ، وان أحد الأدلة الدامغة على أن للكون ظروفها أولية هو فى الواقع ظلمة السماء فى المساء . فالنجوم تولد طاقتها بحرق الوقود النووى ، بتحويل العناصر الخفيفة ( أساسا الهيدروجين ) الى عناصر أثقل ، بدءا من الهيليوم وانتهاء بالحديد الذى هو أكثر العناصر استقرارا نوويا ( أعلاها انتروبيا ) . وفى تحويل الهيدروجين الى حديد يكون النجم قد تسبب فى زيادة كبيرة فى الانتروبيا ، بإطلاقه كل هذه الطاقة التى كانت فى الأصل محبوسة فى النواة ، على صورة اشعاع انتشر الى أقصى أجواز الفضاء .

علينا اذن الرجوع الى الوراء أكثر ، لأصل الوقود الهيدروجينى الذى مكن من هذه العملية . ويرجعنا هذا القاربة خمسة عشر بليوننا من السنوات فى الماضى ، الى لحظة الانفجار العظيم . ويستنبط العلماء الفلكيون من دراسة معدل تمدد الكون والخلفية الاشعاعية الكونية ، أنه بعد ثانية واحدة من المفردة الأولية كانت درجة حرارة الكون عشرة بلايين من الدرجات ، وهى درجة من الارتفاع تحول دون تكون أنوية العناصر ، وكانت مادة الكون عبارة عن حساء من المكونات الأولية للذرات ( بروتونات ،والكترونات ونيوترونات حرة ) مع « جسيمات أولية » أخرى . وبهبوط درجة الحرارة ، بدأت الجسيمات الذرية فى التجمع فى أنوية ، بنسبة

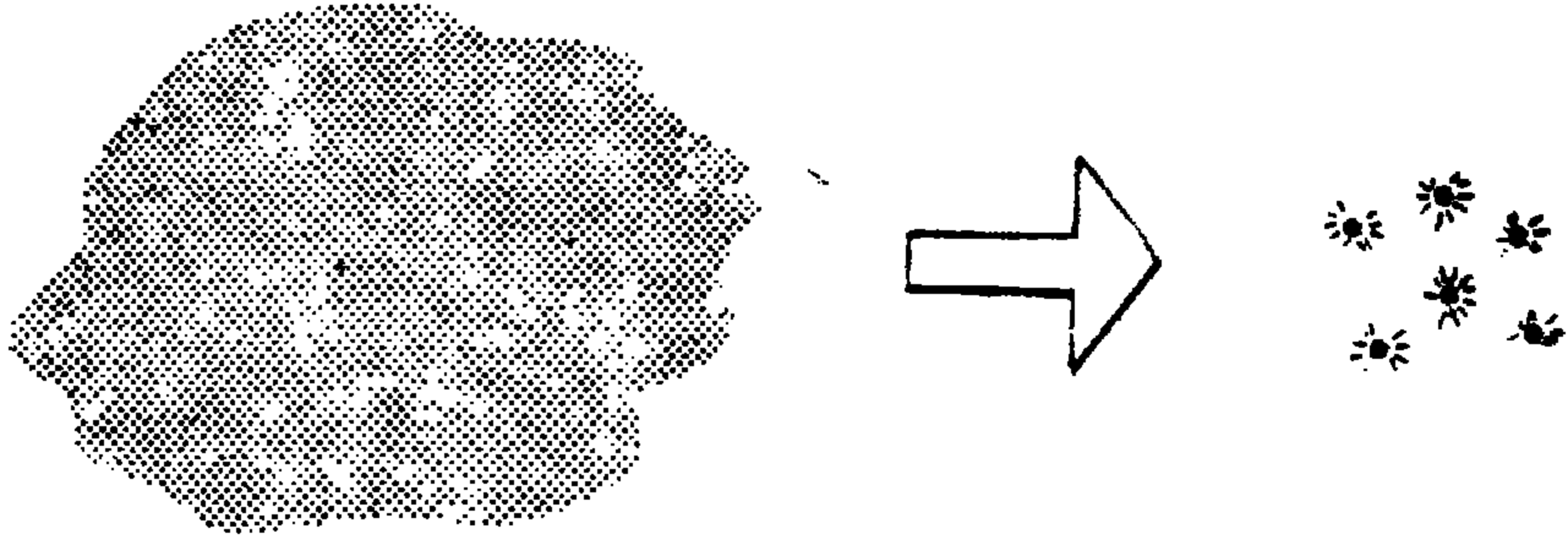
٢٥٪ من الهيليوم ، وأقل من ١٪ من العناصر الأثقل ، وحوالى ٧٥٪ من الهيدروجين .

هذه الفترة من الاندماج فى أنوية استغرقت مجرد عدة دقائق ، وتوقفت لأن درجة الحرارة هبطت عما يسمح لها بالاستمرار . ولهذا السبب « تجمد » القدر الأكبر من المحصول الذرى على صورة هيدروجين ، وهى حالة الانثروبيا المنخفضة التى نعيشها اليوم . فقط فى داخل النجوم ، حيث تولد الجاذبية ضغطا هائلا ، تبلغ درجة الحرارة ما يماثل الدقائق القليلة بعد المفردة الأولية ، بما يسمح باطلاق عملية الدمج النووى مرة أخرى ، واستمرار انزلاق الكون الى مصيره المحتوم من الموت الحرارى . ان هذا الرصيد المتبقى من الهيدروجين هو الذى يتيح اجراء الأنشطة النافعة ، وهى الأنشطة التى يتمثل فيها سهم الزمن .

ولكننا نواجه عندئذ بلغز آخر ، لو كان الكون قد بدأ بحالة منخفضة من الانثروبيا ، منها يذوى بالتدريج فى عملية غير انعكاسية ، فاننا نستنتج أن الكون فى مراحله الأولى كان أبعد ما يكون عن حالة التوازن الترموديناميكى ( أى حالة الانثروبيا القصوى ) . ومع ذلك فان لدينا شواهد أن الكون بعد ثانية كان فى حالة قريبة من تلك الحالة ، فالخلفية الاشعاعية ذاتها ، وانتظام توزيع المادة على النطاق الواسع ، والتفسير المبسط لمعادلات النسبية ، كلها تؤدى لنفس النتيجة . فكيف سار الكون من التوازن الى عدم التوازن ، بينما تتطلب قوانين الفيزياء أن يكون العكس هو الصحيح ؟ وبعبارة أخرى ، لو كان الكون ساعة تسير بانتظام وببطء الى التوقف ، فكيف ملئت فى البداية ؟

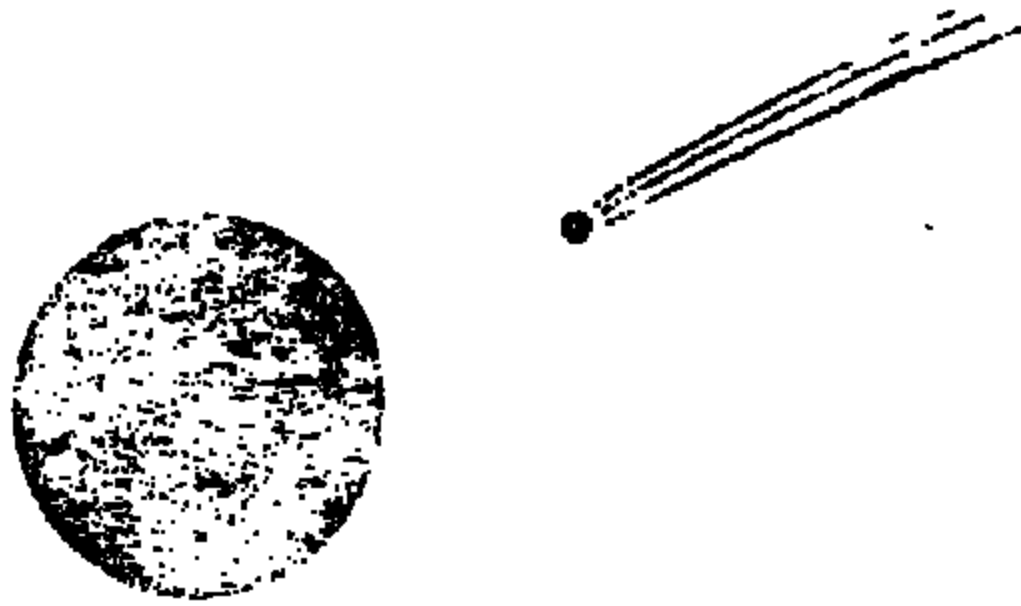
تكمّن الاجابة فى تمدد الكون . ان هذا التمدد هو الذى تسبب فى أن تبرد المادة الكونية . لم يكن لنجم مثل الشمس أن يظل فى مواجهة الحرارة الحادثة بعد المفردة الأولية الا لعدة دقائق . انها لم تظل موجودة بسبب حرارتها ، بل بسبب برودة الكون التى هى بفضل تمدده . ان هذا التمدد هو الذى يسمح للنجوم أن تظل متوهجة على خلفية من برودة الفضاء . وفى هذا الخصوص لا يعتبر الكون نظاما مغلقا بصورة مثالية ،

حيث انه في تمدد مستمر ، بالضبط كما لو كنا مستمرين في تحريك الفاصل في صندوق الغاز ، بحيث لا يسمح للغاز أن يستقر . فالتمدد يعطينا عدم التوازن الترموديناميكي الاساسى الذى يعطى سهم الزمن اتجاهه .



شكل ( ٢٣ ) تتطور سحابة غازية متجانسة - تحت تأثير جاذبيتها الى حالة من اللاتجانس تتجمع فيها المادة على شكل نجوم ، ويمثل هذا سهم آخر للزمن .

ولكن هذه الاجابة مقنعة فقط الى هذه النقطة ، فسهم الزمن المتولد عن الديناميكا الحرارية هو واحد من كثير ، فلدينا سهم متولد عن الجاذبية . فنظم الجاذبية لها ميل طبيعى للتقدم من التشكيلات المنتظمة الى غير المنتظمة ، كما تتكتل سحابة غازية فى الفضاء فى شكل نجم ( الشكل ٢٣ ) . والنصر النهائى لهذا الطريق وحيد الاتجاه هو الثقوب السوداء ، حيث تتكتل المادة بشدة تجعلها تنهار لدرجة الاختفاء عن الأنظار . وحقيقة أن الأشياء يمكن أن تسقط داخل الثقوب السوداء ، ولكن لا يمكن أن تفر منها هى مثال واضح للاتماثلية الزمن . فالشريط السينمائى لا يمكن أن ينعكس (الشكل ٢٤) . وبتقدم الكون تجاه الموت الحرارى ، بتحول



شكل ( ٢٤ ) : يمثل الثقب الاسود اقصى صورة للشد الجذبي ، فالجسم الذى يسقط فيه لا يفلت منه ابدا ، ويمثل ذلك اشد شور سهم الزمن التجلويى اشارة .

قدر أكثر من المادة الى ثقوب سوداء . وقد بين روجر بنزور من جامعة أوكسفورد أن الانثروبيا للكون المرئي هي مجرد ١٠-٢٠ من قيمتها التي يمكن أن تكون لو أن كل ما فيه من مادة قد تركزت في ثقب أسود. ويشير هذا السؤال التالي: لماذا كان الكون المبكر كونا من سحب يكاد يكون منتظما من الغاز ، اذا كان الوضع الأكثر احتمالا (الأعلى من وجهة نظر الانثروبيا) هو تكتل المادة في ثقوب سوداء ؟ لماذا لم يتجه الانفجار العظيم مباشرة الى الثقوب السوداء ؟ والدلالة على هذا التوزيع المنتظم للكون البدائي تأتي كما ألمحنا من التوزيع المنتظم للخلفية الاشعاعية للكون . فهذه الخلفية كانت ستحمل بصمة من عدم الانتظام في مراحل الكون الأولى ، ولكنها كما سنذكر في الفصل الخامس منتظمة بنسبة واحد الى ١٠٠٠٠ .

ولكى نوجز ما قصصناه الى الآن ، يبدو أن هناك على الأقل ثلاثة أسهم للزمن : ثرموديناميكي وجاذبي وكوني . ويكاد يكون من المؤكد وجود رابطة بينها . فحالة الانثروبيا المنخفضة يمكن تتبعها في التمدد الكوني ، والتمدد الكوني ذاته هو مثال للنشاط التجاذبي في الكون ، والميل العام للنظم المتجاذبة للتطور من غلالة سحابية الى تكتل نجمي، يعتبر مثلا لتمدد الكون في انتظام واطراد . وهكذا فان تعليل سهم الزمن يبدو أنه مرتبط بتعليل السلسلة والانتظام التي كان عليها الكون البدائي . هل السبب يكمن في أن الكون « خلق بهذه الصورة » ، أو بعبارة أخرى ، انها بداية اعتباطية تخرج عن مجال العلم ؟ ، أم أنه من الممكن أن نجد تفسيراً لسلسلة الكون عن طريق نظرية عن أصل الكون ؟ على أي من الاحتمالين ، لقد تتبعنا سهم الزمن الى خلق الكون ذاته ، والعمليات التي جرت في كسر الثانية التي تلت .

قبل أن نترك المناقشة عن سهم الزمن لكي نتحدث عن الكون البدائي، علينا أن نقول شيئا ملغزا آخر حول طبيعة الزمن . فمهما كان القرار بشأن لغز أصل سهم الزمن ، فما من شك في أن السهم موجود ، وهو الذي يميز بين الماضي والمستقبل . ولكننا قد قدمنا أن النسبية ليس فيها مكان للماضي والحاضر والمستقبل ، فكيف نوفق بين هذه الحقائق ؟

## الزمن والوعي

كما قدمنا في مناقشتنا للتوقيت (الشكل ١٤) ، فإن « متصل »  
 الزمكان الموحد يعنى ضمناً أن الزمن « يمتد » في كليته ، مثل المكان .  
 فليس من معنى مطلق يمكن أن نلحقه بمفهوم « ال » حاضر . والأكثر من  
 ذلك ، فإن فكرة « سريان » الزمن أو أن اللحظة الحاضرة تسرى من الماضي  
 للمستقبل ليس لها مكان في وصف العالم . هذه المسائل أوجزها بلباقة  
 الفيزيائي الألماني هيرمان ويل بقوله : « العالم لا يحدث ، انه  
 ببساطة يكون » .

كثير من الناس يخلطون بين وجود سهم الزمن والانطباع  
 السيكولوجي بأن الزمن يسرى في اتجاه واحد . ويرجع ذلك جزئياً  
 لغموض الترميز الخاص بفكرة السهم ، والذي قد يستخدم ليعبر اما عن  
 الحركة في اتجاهه ، واما للتعبير عن اللاتماثل ، كما تعبر ابرة البوصلة  
 عن التمييز بين الشمال والجنوب . فحين تشير الابرة للشمال ، فذلك  
 لا يعنى أنك تتحرك في اتجاه الشمال . كما أن الخلط يحدث نتيجة لعدم  
 الدقة الغوية في استخدام مصطلحي « الماضي » و « المستقبل » .  
 فكلا المصطلحين لهما مكان في الفيزياء ، بشرط استخدامهما في صياغة  
 صحيحة أجروميا . فالحديث عن « الماضي » و « المستقبل » غير مسموح  
 به ، ولكن بإمكانك القول ان لحظة ما هي ماضٍ للحظة تالية ، فليس من  
 شك في ترتيب الحوادث في الزمن ، بالضبط كما تتوالى صفحات كتاب  
 في الفراغ ، في تتابع منضبط ، والأكثر من ذلك ، هذا الترتيب كما  
 يجري ترقيم الكتاب ، يحمل اتجاهها مصحوباً به ، حتى وان لم يكن هناك  
 شيء حقيقي يسرى . فأولاً وأخيراً ، تتطلب فكرة السببية نوعاً من علاقة  
 « قبل ف بعد » للحوادث . فكمثال بسيط ، حين تطلق رصاصة على هدف ،  
 وتراه يتحطم ، فلن يكون هناك شك في ترتيب الحوادث بالنسبة لأي  
 مشاهد ، فالتحطيم حدث بعد الاطلاق ، فالنتيجة تقع دائماً كمستقبل  
 بالنسبة للسبب .

ولكننا حين نشير لسهم الزمن ، لا يجب أن نفكر في سهم يطير في

الفراغ من الماضي للمستقبل ، بل علينا أن نفكر في سهم مثل ابرة البوصلة ، يشير لطريق للمستقبل ، حتى ولو لم يكن هناك تحرك تجاهه .

ولقد تجادل الفلاسفة طويلا حول الموضوع الشائك : هل اللحظة الحاضرة حقيقية موضوعية ، أم مجرد اختراع سيكولوجي ؟ فأولئك الذين هم من أمثال هانز ريخنباخ Hans Reichenbach وج . ويترو G. Whitrow والذين اتجهوا الى حقيقة الحاضر يعرفون باسم « المنظرون فئة ( أ ) A theorist » ، بينما يطلق على معارضيهم ، من أمثال آير A. Ayer وجي . سمارت J. Smart وأدولف جرنباوم Adolph Grunbaum « المنظرون فئة ( ب ) » . ويعكس المصطلحان أ و ب وجود نموذجين متباينين للحديث ، الأول يستخدم مفاهيم الماضي - الحاضر - المستقبل وما يتعلق بها من أزمنة قاعدية منتشرة في اللغة (٣) . أما النظام الثاني فيستخدم نظام التواريخ ، فالأحداث تعنون بتاريخ حدوثها ، بدأ كولومبوس في الإبحار ١٤٩٢ ، أول هبوط الانسان على القمر ١٩٦٩ ، وهكذا . ويفيد هذا في وضع الحوادث في ترتيب لا يشير غموضا ، وهو النظام الذي يستخدمه الفيزيائيون . فالتواريخ هي ببساطة احداثيات ، بالضبط كما تستخدم خطوط الطول والعرض لتحديد موقع على سطح الكرة الأرضية . ومن وجهة نظر الفيزيائيين ، فهذا هو كل ما هو مطلوب لوصف العالم .

ويذهب الفريق ( ب ) الى أن هذين النظامين للحديث عن نفس الترتيب للأحداث لا يمكن أن يكونا متوافقين . فحيث ان اللحظة الحاضرة تتحرك باستمرار للأمام ، فالحوادث التي تعتبر مستقبلا سرعان ما تصبح حاضرا فماضيا ، ولكن لا يمكن عنونة حادثة معينة بالعناوين الثلاثة ، كماض وحاضر ومستقبل .

وتتعلق معضلة أخرى في رأيهم بمسألة مدى سرعة التحرك في الزمن . والاجابة يمكن فقط أن تكون ثانية كل ثانية ، ( أو أربعا وعشرين ساعة كل أربع وعشرين ساعة ) وهو ما لا يفيدنا بشيء ، فهو مجرد لغو .



مفهوم التغيير يعنى قيما متغيرة فى اللحظات المختلفة ، ولكن أى شىء يعنى  
تغير الزمن بالنسبة للزمن ؟!

وقد تناول المشكلة فى السنوات الأخيرة كاتب خيال يدعى جى. دن  
J. Dunn والذي اخترع شيئا أسماه الزمن المتسلسل . وقد قبل دن  
فكرة أن الحاضر يتحرك ، ولكنه أدرك أن هذا له معنى فقط لو أدخلنا  
مقياسا آخر للزمن ، يمكن بالنسبة اليه تحديد تقدم الزمن الأول . ثم مد  
الفكرة باقتراح زمن ثالث ورابع وهكذا ، فى تتابع غير منته . وحاول دن  
ربط هذه المستويات المختلفة من الزمن بطبقات وعينا ، باقتراح أنه أثناء  
الأحلام يمكن أن يكون الانسان فى الزمن ١ ، بما يمكنه من رؤية الحاضر  
والماضى والمستقبل . وليس من المستغرب ألا تؤخذ فكرة دن بجدية لا من  
الفلاسفة ولا من العلماء ، ولكنها تبين مدى الصعوبة الكامنة فى أخذ مفهوم  
سريان الزمن بجدية .

وعند هذه النقطة سوف يعترض القارئ المتشكك . والجدل التقليدى  
يسير كالتالى : « مهما كان ما يقوله العلماء أو الفلاسفة ، فمما لا شك فيه  
أن الأمور تحدث ، ان هناك تغيرا لا شك فيه ، فأنا أعيشه معايشة  
مباشرة . فمثلا ، كسر منى قدح القهوة : ولقد حدثت الحادثة فى الرابعة ،  
وقد كان التغير للأسوأ . ان فنجان القهوة الآن مكسور ، ولم تكن فى  
النسباج » .

ولسوف ترد الفئة ( ب ) بأن ذلك ما هو الا خداع : « كل ما تقولونه  
هو أنه قبل الرابعة كان القدح سليما ، وبعد الرابعة كان مكسورا ،  
وعند الرابعة كان فى حالة بينية » هذه الطريقة من الوصف ، وهى طريقة  
الفئة ( ب ) ، تحمل نفس المعلومات عن الحوادث المتعلقة بالقدح ، ولكنها  
لا تشير بأية حال لسير الزمن . ليس من داع للحديث عن كون القدح قد  
تغير الى حالة الكسر ، أو أن هذا قد حدث فى الرابعة . كل ما هناك  
تواريخ وحالات ، وليس من داع للمزيد .

ويمكن فى الواقع للفئة (ب) أن تمضى لأبعد من ذلك ، بالقول بأننا لا نقيس الزمن اطلاقا بصورة مباشرة ، ان ما نقيسه واقعا هو شىء ملموس ، كمكان عقرب الساعة على مينائها ، أو موضع الأرض بالنسبة للشمس . فعندما نقول ان شيئا ما قد كسر فى الرابعة ، فان ما نعنيه فى الواقع أن حالة سلامة الشىء تتفق مع وضع عقرب الساعة عند الرقم ٤ ، وحالة الكسر عند موضع للعقرب بعد هذا الرقم ، وبهذه الطريقة تمحى تماما أية اشارة للزمن فى وصف العالم .

وقد ترد الفئة ( أ ) بأن مفهوم تغيير وضع عقرب الساعات ذاته يتطلب اشارة للزمن ، ما لم يكن هو أيضا مرتبطا بشىء ما ، كحركة دوران الأرض . وعندئذ تنتقل المشكلة الى دوران الأرض ، وهكذا . فما نهاية هذا التسلسل ؟

مرة أخرى ، نجد أنفسنا مجبرين على التأمل فى الظروف الأولية . فالساعة النهائية هى الكون نفسه ، والذي بتمدده يحدد الزمن الكونى ، ويبدو أن هذا يحمل مغزى هاما ، كل من سهمي الزمن الثرموديناميكى والفلسفى يبدو أنهما يجدان أصلهما فى تمدده ، فى سهم الزمن الكونى . ولكن حين نحاول دراسة أصول هذا التمدد بمعرفة أفضل وصف علمى فى الميكانيكا ، ميكانيكا الكم ، نجد أمامنا مفاجأة مدهشة ، اذ يختفى الزمن الكونى من المعادلات تماما ! فمعادلات الجاذبية التى تحكم حركة الكون تفرض قيدها له أثر فى الغاء بعد الزمن . وعلى ذلك فكل التغيرات يجب أن تقاس عن طريق الترابط ، وفى النهاية يرتبط كل شىء بحجم الكون . فأى تصور لحاضر يتحرك قد ذوى كلية ، بالضبط كما ادعى رجال الفئة ( ب ) دائما .

ولكن ماذا عن حقيقة احساسنا بأن الزمن يسرى ؟ تذكر أن آينشتين قد تحدث عن خداع . والخدع المتعلقة بالحركة نصادفها فى مواضع أخرى ، والمألوف منها هو الدوار ، فعندما تتركب مركبة تدور بسرعة ثم تتوقف فجأة ، ينتابك احساس طاغ بأن الكون يدور من حولك ؟ ولكنك

تعلم يقيننا بأنك متوقف . ربما كان احساسنا القوي بسريان الزمن هو نوعا من هذا الخداع ، وأنه مرتبط بالطريقة التي بها تعمل ذاكرتنا .

والنقاش أبعد من أن يكون كافيا . فعلى الرغم من أن القدر الأكبر من الحجج هي في صف الفئة ( ب ) ، وضد حقيقة موضوعية عن حاضر يتحرك ، فيبدو أنه من المستحيل أن نرمى الموضوع وراء ظهورنا كلية . ألا يحتمل أن هناك وجهها للزمن لم ندركه بعد ، هو الذى يطفو فى الطريقة المبهمة وغير الكاملة لادراكنا لتحرك اللحظة الحاضرة ؟ لقد تكلمنا من قبل عن الهيولية ، والتي تمحو روح الحتمية النيوتونية من النظرة للعالم ، وبالنظر للمستقبل على أنه غير متوقع ، فهو لم يحدد بالحاضر بعد . ان أحد أفرع العلم التي سنتناولها بالتفصيل فى الفصل السابع ، تتضمن النظرية الكمية ، والتي تخبرنا أن هناك قدرا كامنا من عدم اليقين تصادفه فى حوادث المستوى دون الذرى . وفى ميكانيكا الكم ، يوجد العديد من أنماط الحوادث المستقبلية ، بمفهوم ما ، الى أن يقوم المشاهد العديد من أنماط الحوادث المستقبلية التي يقر بوجودها جميعا ، رغم تعارض احتمالاتها ، الى أن يقوم المشاهد بتحويل أحد الاحتمالات المفترضة الى واقع . هذا التحويل الجوهري ربما يكون مرتبطا تماما بصور ما بالمفهوم الهلامي لسريان الزمن .

ورغم ما فى هذا القول من عدم الارضاء ، فعلىنا أن نقر بأننا هزمنا فى محاولة تحديد ماهية الزمن ، وأن نبحت عن بديل مؤقت لتصوراتنا الحالية عن سريان الزمن فى محاولة الأصل والنهاية المحتومة للكون . ومع ذلك ، فهذا الاعتراف بالهزيمة فى حد ذاته يبين مدى الحاجة الى اطار فكرى لما بعد النيوتونية ، اشارة الى أنه يوجد المزيد عن الكون بما لا يمكن لنظرياتنا العلمية استيعابه . والآن ، الى أى مدى يمكن لعلم القرن العشرين وصف أصل المكان والزمن ؟

## هوامش الفصل الرابع

(١) يمكن للقارئ المهتم بهذا الموضوع مراجعة كتاب « الدقائق الأولى » ، ترجمة الدكتور ممدوح المرصفي استاذ الفيزياء بجامعة عين شمس ، من منشورات « الغد للنشر » ، ٥٦ شارع ٢٦ يوليو ، القاهرة - ( المترجم ) .

(٢) تظهر هذه المجرة في السماء كخط باهت الضوء ، ومن ثم كانت التسميتان الأولى ، وهي المتفقة مع التسمية الانجليزية ، تتخيل رجلا يتساقط اللبن من اناء معه ، والثانية يتساقط اللبن من حمولة ينقلها - ( المترجم ) .

(٣) ربما باستثناء واحد ، فقد افادنا اللغويون ان شعب الهوبي Hopi في شمال أمريكا لا يميزون في لغتهم بين الأزمنة الثلاثة ، وليست لديهم أية وسيلة للتعبير عن سريان الزمن . فبالنسبة لهم تتميز الأحداث بكونها اما « ظاهرة » أو « متطورة » .

## الفصل الخامس

### الثانية الأولى

فى عام ١٩٧٦ كتب الفيزيقي ستيفن فاينبرج Steven Weinberg كتابا أسماه « الدقائق الثلاث الأولى » (١) ، يصف فيه المراحل المبكرة من الكون ، الانفجار العظيم ذاته . ولكن عنوان الكتاب يحتوى على خدعة بسيطة ، فالقصة التى حكاها فاينبرج عن كيفية تحول الحالة متناهية الانضغاط للمادة الأولية الى كون متمد ، توزعت فى المادة بالتساوى فى أرجاء الفضاء على هيئة هيدروجين بنسبة ٧٥٪ وهليوم بنسبة ٢٥٪ تقريبا انتهت بالفعل بعد ثلاث دقائق من المفردة الأولية ، ولكنها أيضا بدأت بعد جزء من المائة من الثانية من تلك المفردة ، أى ليس فى البداية بالضبط . فى ذلك الوقت كان الفيزيائيون أبعد من أن يستطيعوا الدفع بنظرياتهم الى الانفجار العظيم ، وما حدث خلال الجزء من المائة من الثانية الأولى كان بالنسبة لهم مبهما . والآن ، بعد أقل من عشرين عاما ، يتحدث بعض المنظرين بثقة عن حوادث حدثت خلال هذه الفترة ، ولكنهم لا يزالون عاجزين عن الرجوع الى لحظة المفردة ذاتها ، ليس عن عجز فى نظرياتهم ، فقد صار متفقاً تماماً على أن هناك جزءاً من الزمن لا يمكن تجزئته ، يسمى « زمن بلانك Plank's time » . ان هذه الصفة الكمية التى أعطيت للزمن كان تعنى ضمناً أن الزمن « بدأ » بمعنى معين ، عند عمر الزمن مقداره ١٠<sup>-٤٣</sup> من الثانية . فالمفردة ذاتها لا يمكن سبر غورها . فما عومل من قبل على أنه المفردة ضاع فى خضم التأثيرات الكمية .

وفهمنا لتاريخ الكون فى الثانية الأولى من عمره يقف على قدم المساواة مع فهمه فى الدقائق الثلاث الأولى فى منتصف السبعينيات ، وفى خلال الثانية الأولى حدثت العمليات التى استوى فيها الكون المرئى وجعلته يسير الى حالة الانتروبيا المنخفضة؛ لكى تظهر فى تاريخ لاحق للكثير من الأشياء مثيرة ، بما فيها نحن .

ويعنى الانفجار العظيم ضمنا ليس فقط ظهور المادة والطاقة ، بل أيضا الفضاء والزمن . وزاوجت روابط الجاذبية الزمكان بالمادة ، حيثما يسر أحدهما يتبعه الآخر حتما . فالانفجار العظيم هو الماضى الأقصى للكون المادى بأكمله ، وهو الذى يمثل بداية الزمن ، فليس له « قبل » . هذا المفهوم المحير كان متوقعا منذ عهد بعيد من القديس أوجستين ، والذى كان يردد أن العالم قد خلق « من الزمن ، وليس فى الزمن » .

ولقد جادل الفلاسفة ورجال الدين كثيرا حول المعنى الحقيقى للخلق « مع الزمن » . فواقعة كهذه يجب أن تكون بدون سبب مسبق ، لأن السببية ذاتها مفهوم مرتبط بالزمن . ويعتبر اللغز الكونى جزئية من الجدل اللانهائى وغير المحسوم حول علاقة الله بالوقت . ولكن الفيزيقيين المحدثين ، وبالتحديد فى النظرية الكمية ، قد ألقوا ضوءا جديدا على العلاقة بين السبب والنتيجة ، فى سبرهم لغور لغز سبب الانفجار العظيم الذى لم يكن له « قبل » .

وبالنسبة لغرضنا الحالى ، فالخاصية الجوهرية فى النظرية الكمية هى الاحتمية . فالفيزياء القديمة ربطت كافة الوقائع فى رباط وثيق من الأسباب والنتائج ، ولكن على المستوى الذرى اتضح أن هذا الرباط ليس محكما تماما ، فالحوادث قد تقع دون سبب قاطع ، وتحولت الحركة والمادة الى أشياء مبهمة . فالجسيمات لا تتبع مسارات محددة تماما والقوى لا تحدث الآثار المحتومة . لقد أفسحت الساعة المنضبطة لميكانيكا نيوتن المجال الى خليط هلامى من أنصاف الحقائق (٢) . انه من خلال ذلك الأجيج على المستوى دون المرئى ينبع عدم اليقين . فما يحدث من لحظة

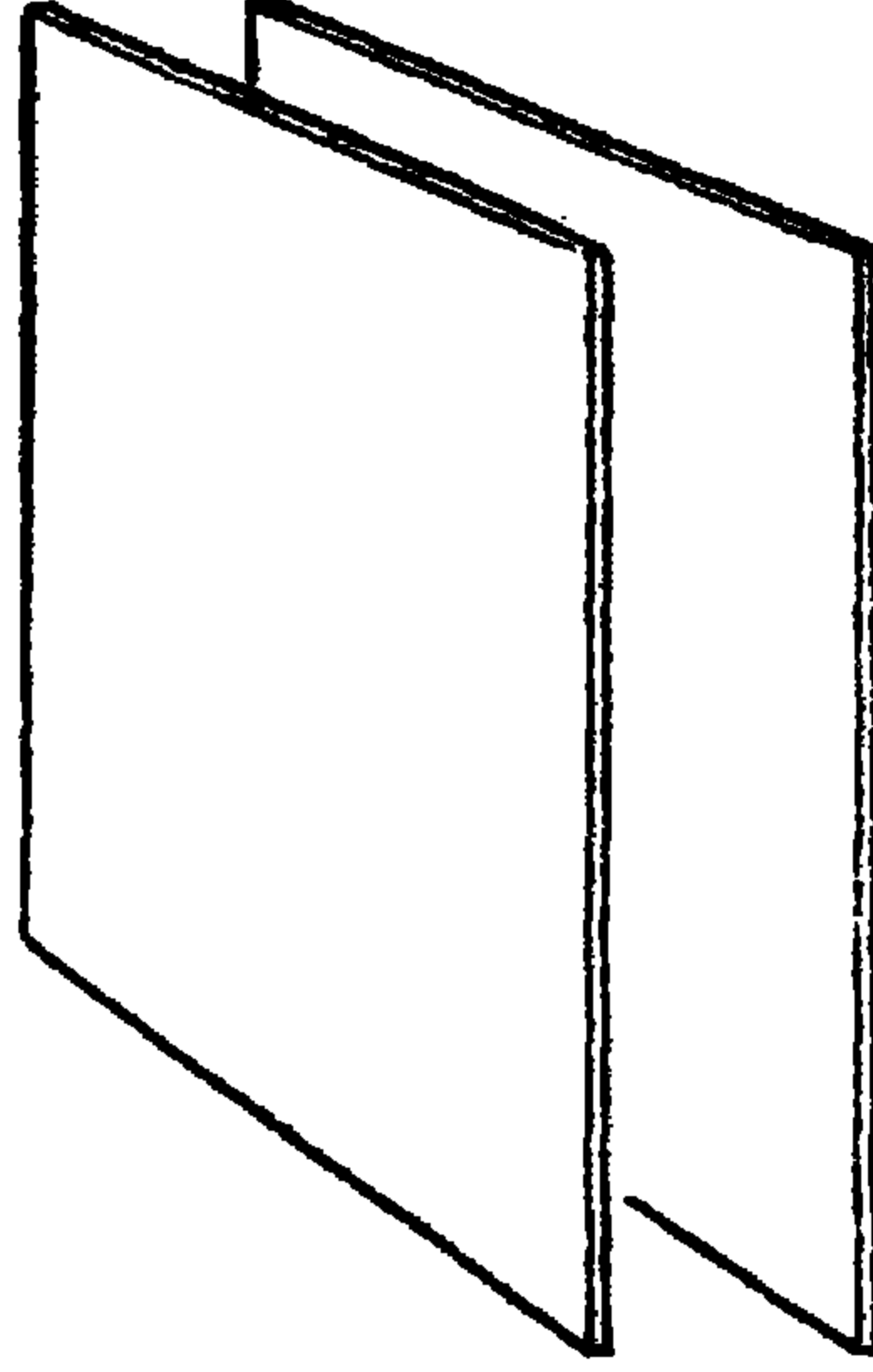
- لآخرى ليس محددًا تمامًا ، كل ما يمكن اعطاؤه هو فقط الحدس والظن .
- فالتذبذبات العشوائية في هيكل المادة ، بل والزمكان ، أمر محتوم .

### شيء مقابل لا شيء :

من أعجب ما ينتج عدم اليقين الكمي هو أن المادة يمكن أن تظهر من دون مكان ما . ففي الفيزياء الكلاسيكية ينظر للطاقة على أنها شيء ثابت ، لا يخلق من العدم ، فهي فقط تتحول من صورة لأخرى . أما ميكانيكا الكم فتسمح بظهور طاقة من لا شيء ، طالما أنها تختفى في لمح البصر . وحيث أن المادة هي صورة من الطاقة ، فإن ذلك يعنى ، كما قدمنا في الفصل الأول ، احتمالًا لظهور عرضي لجسيمات من لا شيء . هذه الظاهرة تعدل جذريًا ما نعنيه بـ « الفضاء الفارغ » .

تخيل صندوقًا أخلى من كل صور المادة . قد نظن أن هذا هو الفراغ بعينه ، أو الفضاء الفارغ . والواقع أن التذبذبات في الطاقة الكمية للفراغ تسبب خلقًا مؤقتًا لكل أنواع الجسيمات « التقديرية » ، وهي جسيمات ما تلبث أن تظهر حتى تختفى . فالفراغ الساكن ظاهريًا ما هو إلا بحر مهتاج بالنشاط الذى لا يهدأ ، ممتلئًا بالجسيمات الشبحية التى تظهر ، وتتفاعل ، ثم تتلاشى . ولا يهم إذا كان الصندوق مفرغًا من المادة « الدائمة » أم لا ، فهذا النشاط يدور فى كل ما حولنا ، بما فيه الفراغ داخل الذرة . الأكثر من ذلك فإن هذا النشاط الفراغى الذى لا يمكن التخلص منه ليس فرضًا نظريًا ، بل هو ينتج آثاره على الذرات وما دون الذرات ، آثار ملموسة بالتجربة . وقد اقترح الفيزيائى الدانمركى هندريك كاسيمر Hendrik Casimer وضع لوحين معدنيين متقابلين على مسافة جد صغيرة ( الشكل ٢٥ ) . هذان اللوحان لكونهما من المعدن سوف يكونان عاكسين للفوتونات بصورة عالية ، بما فى ذلك الفوتونات التقديرية التى افترضناها . ونتيجة لهذه الانعكاسات المستمرة ، فإن تغييرًا ملحوظًا يحدث فى طبيعة الفراغ فى الفجوة بين اللوحين .

وأفضل تصوير لما يحدث هو المقارنة بوتر جيتار . فلان الوتر مثبت من طرفيه ، فهو لا يهتز الا بنغمات معينة ، وهذا بديهى لآى



الشكل (٢٥) : تأثير كاسيمير • يترتب على وضع اللوحين العاكسين اضطراب الفراغ الكمي بينهما ، باجبار الفوتونات على اتخاذ أطوال موجية محددة ، وينتج عن ذلك قوة تجاذب بين اللوحين •

موسيقى • والذبذبات المنتقلة على طول الوتر تنعكس جيئة وذهاباً بين الطرفين المثبتين ، بحيث لا يلعب الوتر الا نغمة محددة ، هي التي تسمح باستقرار نصف موجة بالضبط على طول الوتر ، أو مضاعفاتها ( تسمى المضاعفات بالتوافقيات harmonics ) كما في الشكل ( ٢٦ ) • أما غير ذلك من ترددات فممنوعة • وبصورة مشابهة ، تسمح الفجوة بين اللوحين بذبذبة محددة من الموجات الكهرومغناطيسية أن تتردد بين اللوحين ، « نغمة » خالصة من هذه الموجات ، أو توافقياتها الأعلى • اما كافة الترددات غير المتوافقة في طولها مع مسافة الفجوة ، فلن يكون لها وجود بين اللوحين •

وحيث ان قدرا من الطاقة محرم تواجدہ بين اللوحين ، فان قدر الفوتونات المتاحة بين اللوحين سيكون أقل من المتاح خارجهما ، وعليه يكون دفع الفوتونات على السطحين الداخليين للوحين أقل منه على السطحين الخارجيين ، مما يترتب عليه ميل اللوحين للتقارب ، ويظهر تأثير كاسيمير Casimer effect على صورة قوة تجاذب بين اللوحين •

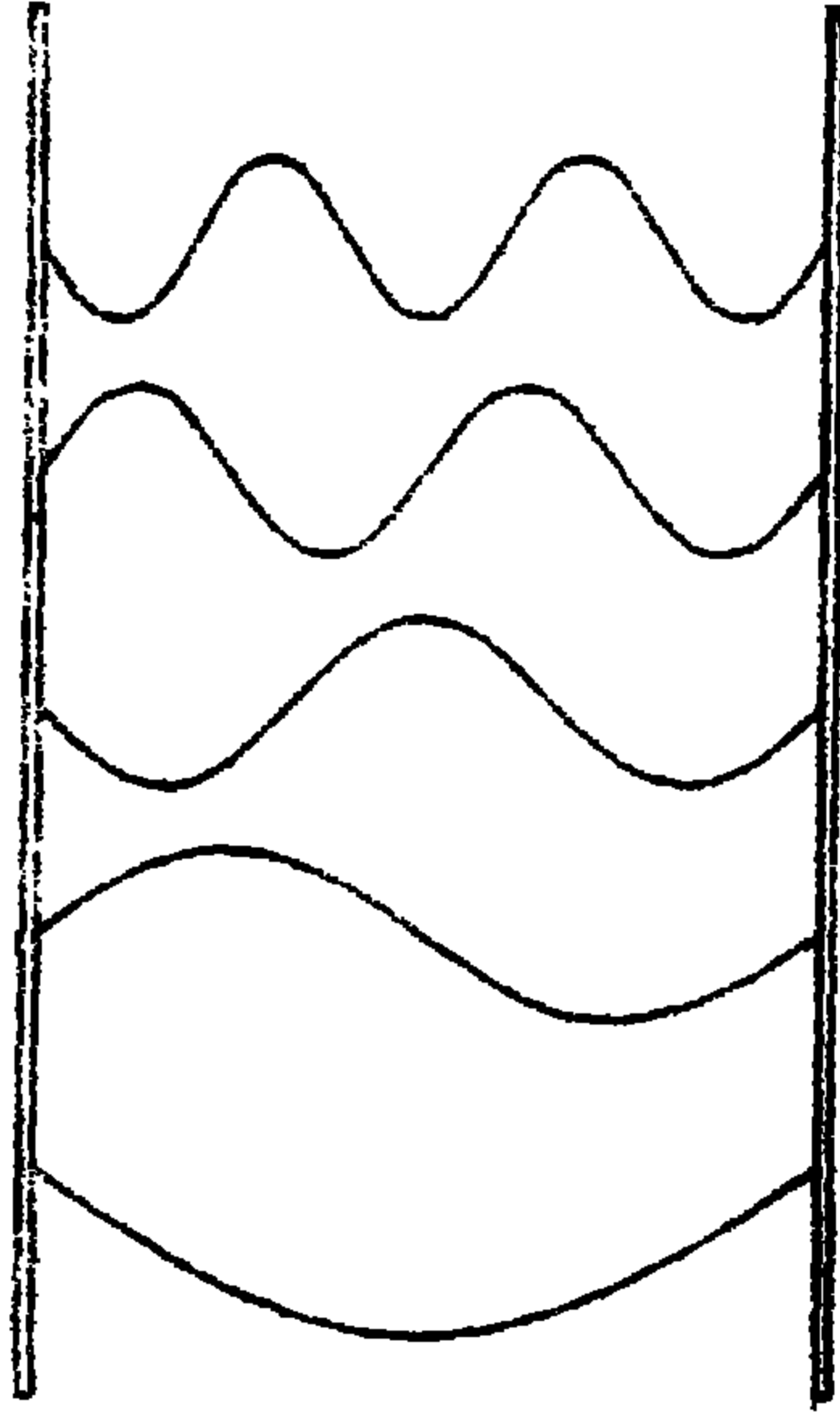


أشلاء نتجت عن تحطم البروتونات نتيجة للتصادم ، بل خلقت من فرق الطاقة الحركية للجسيمين المتصادمين نتيجة تباطئهما بسبب التصادم ، وحيث ان الفراغ لم يتكلف شيئا من الطاقة فى خلقها ، فانها تظل باقية بجسيمات حقيقية .

فالجسيمات التقديرية يمكن أن ترتفع لمستوى الحقيقية اذا ما دفع مقابل من الطاقة لقاء بقائها ، والطريقة المباشرة لعمل ذلك فى تجربة كاسيمير هى تحريك أحد اللوحين بعنف ( وهو يقابل نقر الوتر ) . وفى الواقع فانه من ناحية المبدأ فكل ما هو مطلوب مجرد تحريك أحد اللوحين ، فبينما يتحرك السطح العاكس ، تنعكس منه المجالات الكمية ، ولو تسارعت هذه المرآة فان ذلك يعطى طاقة للفوتونات تمكنها من الانبعاث ، مما يجعل المرآة فى الواقع مصدرا للضوء ، وليس مجرد عاكس له . فاعطاء المرآة تسارعا شديدا ، يمكن المرء من رؤية الجسيمات المخلقة فى الفراغ الكمي رأى العين .

ولكن عقبة تثور فى مواجهة ذلك ، فلو أن المرآة أعطيت تسارعا يساوى تسارع السقوط الحر ، فان حرارة الاشعاع المنبعث لن تكون أعلى من  $4 \times 10^{-2}$  درجة كلفن . وتبين المعادلات أن العلاقة طردية بين التسارع ودرجة الحرارة ، بمعنى أن تضاعف التسارع تتضاعف معه درجة الحرارة ، ولما كانت درجة حرارة الضوء المرئى تساوى ٦٠٠٠ درجة كلفن ( درجة حرارة سطح الشمس ، والتي منها يرد أغلب الضوء المرئى ) ، فمن الواضح أنه ما من مادة تصنع منها المرآة المتحركة يمكنها أن تصمد لمثل هذه الحرارة .

ولكن لم يفقد كل شيء ، فالأبحاث فى معامل بل تحاول الحصول على نفس النتيجة باستخدام الغازات المؤينة بضوء الليزر ، وبالتحكم فى الليزر بالصورة المناسبة ، فان الغاز المتأين يمكن أن يمثل المرآة المذكورة ، وما زال تصميم جهاز مبنى على هذه الفكرة جاريا حتى تأليف هذا الكتاب .



الشكل (٢٦) : الفوتونات التقديرية المحصورة بين اللوحين في الشكل (٢٥) تعمل مثل الجيتار حين تهتز أوتاره . الذبذبة الأدنى هي التي يساوى نصف طولها الموجي المسافة بين اللوحين بالضبط ، وتتلو ذلك الذبذبة التي طولها الموجي هو نفس المسافة ثم مضاعفات هذه الذبذبات .

هذه القوة ضئيلة للغاية ، ولكن يمكن قياسها . فالفوتونات ذات الأطوال الموجية القصيرة لا تتأثر بهذه الظاهرة كثيرا ، بينما تتأثر بها ذات الأطوال الكبيرة بقدر أكبر ، ولما كانت الترددات طويلة الموجة تقابل كما أقل من الطاقة (٣) ، فإن التغير في الطاقة يكون ضئيلا ، ولكنه برغم ذلك ممكن الاحساس به ، كقوة التجاذب التي قام بحسابها كاسيمر . وأكثر التجارب اقناعا استخدم فيها ألواحاً مقوسة من الميكا ، ومثل هذه التجارب تبين بصورة مباشرة النشاط الفراغي الكمي .

والشيء الوحيد الذي يمنع الجسيمات التقديرية من البقاء هو افتقارها للطاقة . فعدم اليقين الكامن في العالم الكمي يسمح لها بالظهور العابر ، دون أن يتكلف الكون شيئا مقابله . أما إذا كان للجسيم أن يتحول لجسيم حقيقي ، فلا بد من طاقة تدفع مقابل ذلك . والمثال الواضح لهذه العملية نراه في المعجلات ، حين يتصادم زوج من البروتونات عالية السرعة ، فينتج عن التصادم جسيمات تسمى البيونات (٤) ، وهي ليست

ومن الوسائل الأخرى لانتاج طاقة تمد الفراغ الكمي هي خلق مجال كهربى قوى بين اللوحين ، ولا يؤثر ذلك فى الفوتونات التقديرية ، ولكن فى الالكترونات وغيرها من الجسيمات التقديرية المشحونة الموجودة بين اللوحين . فمع مجال كهربى بالقوة المناسبة ، ستظهر الكترونات حقيقية من الفجوة بعد أن أمدتها المجال الكهربى بالطاقة اللازمة لبقائها .

لكن الطاقات الكهربائية اللازمة أعلى بكثير مما يمكن لتجربة عملية أن تحققه ، الا أنه يمكن خلق مجال عرضى بالقوة المناسبة من تصادم عنيف بين نواتى ذرتين ثقيلتين . وينتج هذا لحظيا كرة متماسكة مركزة من عشرات البروتونات ذات الشحنة الموجبة . والمجال الكلى الناتج من مثل هذه الكرة من البروتونات، يقترب فى قوته من المجال المطلوب لانتاج أزواج من الالكترون والبوزيترون ( نقيض الالكترون ) بالقرب من سطح الكرة . وقد أجريت تجارب من هذا القبيل ، ولا تزال نتائجها قيد التحليل .

ورغم أن المجال الكهربى هو أنسب وسيلة واضحة لاثارة الفراغ ، فان المجال التجاذبى يمكنه أيضا أن ينفذ الفكرة . فأغلب الثقوب السوداء هي ذات أقطار عدة كيلو مترات على الأقل ، ولكن يتصور أنه خلال الانفجار العظيم تكونت ثقوب سوداء بحجم نواة الذرة . وبقدر صغر الثقب الأسود ، تكون شدة تشوه الزمكان بالقرب منه ( الواقع ان الزمكان يجب أن يتقوس بعنف أشد حتى يستوعب الثقب الأسود الصغير بداخله ) . وشدة تشوه الثقب الأسود تعنى وجود مجال تجاذبى شديد ، وقد بين ستيفن هوكنج أن المجال التجاذبى المهول بالقرب من الثقب الأسود، يمكنه اثاره الفراغ الكمي لينتج جسيمات حقيقية بدفع مقابله من الطاقة التجاذبية للثقب . وسوف تتبخر الجسيمات من منطقة الثقب الى الفضاء خارجه ، بينما يفقد الثقب كتلته تدريجيا الى أن ينفجر الى مخلفات من الجسيمات دون الذرية (٥) .

ومثل آخر للمجال التجاذبي الفائق هو الانفجار العظيم ذاته ،  
فالحسابات تبين أنه خلال ١٠ - ٢١ من الثانية الأولى كانت الظروف  
الكونية من التطرف العرجة تفي بخلق متواصل من الجسيمات . ويعنى  
هذا خلق جسيمات حقيقية من الطاقة التجاذبية للكون المتمد ذاته .  
ويميل المرء الى أن يعزى أصل المادة في الكون لهذا الخلق من فراغ  
الفضاء ، الا أن هناك ثغرة .

### الأجسام المضادة

لماة عام مضت ، لم يكن أحد يسأل عن أصل المادة . فالفلكيون  
كانوا يعتقدون أن الكون سرمدى . وإلى عشرين عاما كانت الإجابة أن  
الكون قد نشأ من انفجار عظيم ، وأن المادة كانت موجودة منذ البداية .  
واليوم لدينا تفسير فيزيقى محتمل لأصل المادة . ولكن لنجاح هذا  
التفسير ، يجب أن نعرف شيئا عن الأجسام المضادة ، والرد على لغز  
اختفائها عن عالمنا المرئى .

وقد نبعت فكرة الأجسام المضادة من أهم تقدم علمى فى القرن  
العشرين ، النظرية النسبية والنظرية الكمية . فقبلهما كان من المفترض  
أن المادة لا تخلق من العدم ولا تفتنى ، بمعنى أن حصيلة الكون من المادة  
مقدار ثابت . ولكن آينشتين فى نسبته الخاصة غير من هذا المفهوم  
تماما ، فقد بين بمعادلته الشهيرة بين الطاقة والمادة :  $E = mc^2$  أن  
الكتلة هى صورة من الطاقة . فجسيم كالإلكترون يمكن النظر اليه كتكتل  
مركز من الطاقة . ويمكنك الحصول على قدر كبير منها من كتلة صغيرة ،  
لأن العامل ( ج ) فى المعادلة هو سرعة الضوء ، وقد مر عليك مقدار كبره .  
( ٣٠٠ ألف كيلو متر فى الثانية ) .

ولأن الطاقة تظهر فى صور متعددة ، يمكن للمادة أن تتحول ،  
مثلا الى طاقة حرارية . وقد أيد هذا الرأى دراسة كتل الجسيمات  
النووية ، فنواة الأكسوجين مثلا تحتوى على ثمانية بروتونات ومثلها من  
النيوترونات ، وحاصل جمع كتل هذه الجسيمات منفردة يقل عن كتلة

نواة الأكسوجين ، أى عن مجموع كتلتها وهى محتواة فى النواة ، بمقدار ١٪ ، فاين ذهب الفرق ؟ التعليل هو أنه تحول الى طاقة تربط هذه الجسيمات معا . ونعلم اليوم أنها بالضبط الطاقة التى تمد الشمس والنجوم بالوقود اللازم لحياتها .

وعلى الرغم من أهمية أفكار أينشتين ، فإنه لم يفترض مباشرة أن جسيمات بأكملها قد تختفى ( أو تظهر ) عن طريق تبدل الطاقة فى صور مختلفة . فالبروتون قد تقل كتلته داخل النواة عنه وهو منفرد ، ولكنه لن يتلاشى كلية . ان من افترض ذلك هو بول ديراك Paul Dirac عام ١٩٢٠ .

كان ديراك مهتما بالجمع بين الأفكار الكمية الحديثة والنسبية . فرغم أن النظرية الكمية كما طورها شرودنجر وهايزنبرج وآخرون فى ١٩٢٠ قد نجحت بشكل منقطع النظير فى تفسير سلوك الالكترونات فى الذرة ، كتحديداتها فى مستويات محددة من الطاقة ، فإنها لم تتفق مع أفكار أينشتين . وعلى وجه الخصوص ، فالتحول بين الطاقة والمادة طبقا لمعادلة أينشتين لم تتوافق مع النظرية الكمية .

وقد تم التوفيق بين هاتين النظريتين العظيمتين على يد ديراك ، عام ١٩٢٩ . ومركز الثقل فى عمل ديراك هو معادلة بديلة لمعادلة شرودنجر فى وصف حركة الالكترون على أنها حركة موجية . وقد تضمنت معادلة ديراك المعادلة الموجية لشرودنجر والأفكار النسبية عن الحركة ، وعلاقة الطاقة بالمادة . ولكن ظل هناك أمر دقيق لا يمكن تجاهله .

ان معادلة أينشتين فى الواقع ليست بالنص المذكور تماما ، بل هى على الصورة  $E^2 = mc^2 + p^2$  ، وبأخذ الجذر التربيعى يعطينا معادلتين وليس واحدة ، حيث ان الجذر التربيعى للعدد الموجب له فى الواقع قيمتان ، واحدة موجبة والأخرى سالبة . معنى ذلك أن هناك صورة أخرى للمعادلة هى  $E = -mc^2 - p^2$  .

وقد تجاهل ديراك في البداية الحل السالب ، حيث انه يتضمن طاقة سالبة للالكترونات ، وهو ما بدا أمرا لا معنى له . ولكن وجوده ظل محيرا له ، اذ لم يفهم بالمرّة لماذا يشع الكترون موجب الطاقة طاقة على هيئة فوتونات ، وبذلك يتحول الى حالة من طاقة سالبة (٦) . لو اتبع ذلك استمر الالكترون في بث الطاقة والنزول بمستوى طاقته بلا نهاية ، ولو صحت هذه الصورة لما كان لأية مادة مجال للاستقرار .

ثم لاح حل لديراك مبنى على صورة خيالية نعلم الآن انها غير صحيحة ولكننا سنقص القصة كما جرت من أواخر العشرينات الى أوائل الثلاثينات ، لنبين أنه حتى النماذج غير الصحيحة تماما يمكن أن تساهم في بحثنا عن الحقيقة .

قبل عدة أعوام، اقترح ولفجانج باولي Wolfgang Pauli مبدأه المعروف باسم « مبدأ الاستبعاد لبولي Pauli exclusion principle » الذي يذهب الى أن تفسير بعض خواص الالكترونات يمكن أن يتم لو افترضنا أنها ذات ميل للعزلة ، فلا يمكن لها أن تتقارب زيادة عن حد معين . وبهذا المبدأ يمكن تفسير احتشاد الالكترونات في مسارات مختلفة حول النواة دون أن تتصادم وهي تحاول الوصول لمستوى الطاقة الأدنى ( كما تفعل الطائرات حين تحتشد حول مطار مزدحم في انتظار الهبوط ) . وقد طبق ديراك مبدأ الاستبعاد على مشكلة الطاقة السالبة، متسائلا : هل يمكن أن تكون هذه الطاقة ممثلة بالفعل بالالكترونات ؟ فمبدأ باولي سيمنع الالكترونات ذات الطاقة الموجبة عندئذ من الهبوط في الطاقة السالبة . ولكن هذا التصور كان يضم اعوجاجا غريبا ، فنحن لا نرى مثل هذه الالكترونات ذات الطاقة السالبة ، واستخلص ديراك من ذلك أنها يجب أن تكون مرئية .

وعلى الرغم من الخيال الجامح في تصور ذلك البحر غير المرئي من الطاقة السالبة المليء بالالكترونات حقيقية ( غير تقديرية ) ، إلا أنه أدى بديراك الى توقع لا يقل جموحا . لنفترض أن أحد الالكترونات المفترضة

قد امتص قدرًا من الطاقة ( فوتون مثلاً ) يمكنه من الارتفاع الى الطاقة الموجبة ، بحيث يصبح مرئياً ، انه سيخلف مكانه فجوة ، هذه الفجوة في الواقع تتمثل في جسيم له نفس كتلة الالكترتون ، الا أنه ذو شحنة موجبة ( تعبر عن اختفاء الالكترتون ذي الشحنة السالبة ) ، بمعنى أنه سيكون جسيماً يمثل صورة معكوسة للالكترتون ، ومن ثم فقد أعطاء اسم « بوزيترون » .

ولم يكن أحد الى ذلك الوقت قد لاحظ وجود البوزيترون ، وكان الجسيم الوحيد ذو الشحنة الموجبة هو البروتون ، ولذا فقد تساءل ديراك ان كان هو الصورة المعكوسة للالكترتون ، رغم الاختلاف في الكتلة بينهما . ولكن الفيزيائي الأمريكي كارل أندرسون Carl Anderson عثر عليه في ١٩٣٢ بينما هو يدرس الأشعة الكونية . هذه «الأشعة» (V) التي تمطر بها الأرض هي في الواقع جسيمات ذات طاقات عالية تتسبب عن كل أنواع الجسيمات الثانوية دون الذرية عند اصطدامها بجو الأرض . أحد هذه الجسيمات كان له انحراف في الاتجاه المضاد لاتجاه الالكترتون ، وإن كانت له نفس كتلته ، ولم يعد في ذلك من شك في أنه الكترتون موجب الشحنة ، أو البوزيترون .

وأدت التصحيحات التالية لأعمال ديراك الى إلغاء فكرة بحر الطاقة السالبة ، حيث اتضح أن قواعد ميكانيكا الكم تمنع الالكترونات من الهبوط الى طاقة سالبة . فالصورة التي استنبط منها ديراك وجود المادة المضادة كانت خاطئة ، ولكن الحقيقة لم تكن في الصورة ، بل في المعادلات ، والحل « المعكوس » للصورة الكمية لمعادلة آينشتين كان يسمح ( بل في الواقع يتطلب ) وجود الجسيمات ذات الشحنات المضادة . بل انه ليؤكد أن هذا صحيح لكافة الجسيمات ، فكل جسيم لابد وأن له جسيماً مضاداً ، أو نقيض الجسيم . وعلى ذلك فلا بد من وجود البروتون المضاد ، ونيوترون مضاد ، وهكذا . هذه الجسيمات في مجموعها تسمى « المادة المضادة antimatter » . واكتشف بعد الحرب الثانية البروتون المضاد وغيره من جسيمات مضادة في الأشعة الكونية ، كما تنتج حالياً

فى كافة مختبرات الجسيمات فى العالم ، بل وتخرن باقتناصها فى مجالات مغناطيسية .

وحصل كل من ديراك وأندرسون على جائزة نوبل (٨) ، وفى خطاب الجائزة عام ١٩٣٣ قدم ديراك اقتراحا جسورا آخر ، قائلا انه من قبيل الصدفة البحتة ان كانت الأرض مصنوعة من تفوق الصورة المألوفة لنا من المادة على نقيضتها ، وأنه يمكن تخيل أن نجما آخر فى مكان ما يكون مصنوعا من المادة المضادة ، فيكون لدينا نجوم مضادة ، وكواكب مضادة ، بل وأيضا ، بشر مضادون .

ورغم أنه لم تلاحظ الجسيمات المضادة حتى الآن الا فى صورة منفردة ، الا أنه ليس من ناحية المبدأ ما يمنع من أن تتحد بصورة شبيهة للذرات المألوفة ، مكونة لذرات مضادة ، مما يتصور معه عالم كامل من المادة المضادة ، لن يختلف فى فيزيائه عن العالم المألوف لنا . وليس من وسيلة مباشرة تمكننا من أن نعرف على البعد الى أية صورة ينتمى نجم من النجوم .

وفى المقابل ، فانه ما أن تتلاقى المادة مع نقيضتها ، حتى تكشف عن هويتها . فتولد زوج من الالكترين والبوزيترون نتيجة امتصاص الفوتونات على الوجه الذى توقعه ديراك يمكن أيضا أن ينعكس ، اذ يتسبب تلاقيهما فى فنائهما المشترك ، وتتحول طاقاتهما الى فوتونات ، تبلغ درجة طاقتها من الشدة لدرجة انتمائها لأشعة جاما . لهذا السبب فان وجود الجسيمات المضادة على سطح الأرض ، بما فى ذلك ما يتولد عن الأشعة الكونية ، هو وجود مؤقت بطبيعته .

وحقيقة امكانية تولد المادة ونقيضتها من الطاقة ( ليس بالضرورة من الأشعة الكهرومغناطيسية ) يفتح الباب أمام تفسير نشأة المادة التى صنع منها الكون . فكما رأينا ، لقد استثار الانفجار العظيم عمليات قادرة على انتاج كميات مهولة من الطاقة ، وان قدرا من هذه الطاقة قد استنفد فى تكوين أزواج من الجسيمات ونقائضها . وعلى ذلك فليس من ضرورة أن نذهب الى أن المادة كانت موجودة منذ البداية كمجرد رجم بالغيب .



وجودها يمكن أن يعزى لعمليات تمت فى المراحل المبكرة للكون . ولكنه بما أن المادة ونقيضتها تتكونان معا ، فإن هذا يؤدى الى تصور عوالم مضادة نشأت معا ، وأن المادة ونقيضتها موجودتان بشكل متداخل فى الكون .

ونظرية الكون متماثلا بهذه الصورة مثيرة للخيال ، وقد أوحى عام ١٩٦٠ للفلكى الكونى السويدي هانز ألفين Hannes Alven بكتابه « المادة ونقيض المادة » . ولكن هذا التماثل المغرى تواجهه عقبة كثود ، فالحساء المفترض فى الكون البدائى المكون من المادة ونقيضتها سوف تثور فيه عملية فناء جماعية نتيجة تلاقى كل جسيم بنقيضه بحيث لن يتبقى شئ يذكر .

وقد حاول بعض الفلكيين البحث عن آلية مقبول يسمح بتجمع كل نوع من المادة مع بعضه بحيث تكون التجمعات منعزلة على أبعاد تحول دون فنائها المشترك ، والأبعاد المتصورة هى الأبعاد المجرية ، حيث أن المجرات توحى بأنها تجمعات منعزلة يفصلها فضاء ساحق (٩) . لكن ميكانيزم مقنعا لم يتم التوصل اليه على الاطلاق .

وفى نفس الوقت تلوح ظلال كثيفة من الشك فى وجود تجمعات من نقيض المادة فى أى مكان من الكون . والشواهد على ذلك استخلصت من نتائج قياس اشعاع جاما بواسطة الأقمار الصناعية ، فاشعة جاما لا تخترق الغلاف الهوائى للأرض ، ولكن بواسطة أجهزة مركبة على الأقمار الصناعية يتم مسح هذا الاشعاع فى أرجاء الكون ، وقد سجل الاشعاع بالفعل فى مركز مجرتنا ، درب التبانة ، وفى أجزاء أخرى بالقدر الموحى بحدوث فناء نتيجة تلاقى الجسيمات المضادة ، ولكنه من الصغر بحيث أن نسبة المادة المضادة المتبقية فى مجرتنا لا تقدر بأكثر من واحد فى المليون .

وحتى هذا التقدير قد يكون مبالغا فيه ، حيث أن قدرا لا بأس به من اشعاع جاما يلوح بأنه نتيجة تلاقى الالكترونات ببيوزيترونات مخلقة

حديثاً، عن طريق الخلق المزدوج الناتج عن الطاقة العالية في قلب المجرة .  
وليس هناك أى دليل على وجود مادة مضادة متخلفة عن نشأة الكون .

وقد طبق نفس المنطق على مجرات أخرى . فالمجرات في عصرنا يحدث أن تتصادم ، ومن الطبيعي أن يكون تصادمها في العصور السحيقة أكثر ، نتيجة تزاوجها في الكون . ولو كان التصادم قد تم بمجرات ذات مادة متضادة ، لكان الكون اليوم مغموراً بقدر كبير جداً من اشعاع جاما ، وهو ما تكذبه المشاهدات . وأصبحنا مواجهين بلغز ، اذا كانت قوانين الفيزياء محايدة بين المادة ونقيضتها ، فكيف انتهى بمادة من نوع معين؟

### أين اختفت المادة المضادة ؟

أحد الحلول الممكنة لحل هذا اللغز جاء من كشف الفيزيائيين الأمريكيين عام ١٩٦٤ ، هما فال فيتش Val Fitch وجيمس كرونن James Cronin (١٠) . فقد كانا يبحثان في تحلل جسيم يسمى ميزون ك  $K^0$  meson ، وهو جسيم غير مستقر سرعان ما يتحلل الى عدد من الجسيمات والجسيمات المضادة . وقد وجد العالمان أن التحلل لا يكون متماثلاً بالنسبة لنوعى الجسيمات . ورغم أن الفرق ضئيل إلا أن دلالاته عميقة ، فهو أول شاهد على أن قوانين الفيزياء ليس محايدة بالنسبة لنوعى المادة .

ولهذا الكشف تداعيات مثيرة . فالى عام ١٩٦٤ لم يكن يبدو من المحتمل وجود طريقة لكائنات عاقلة من نوعين متضادين من المادة ، يمكن التعرف على هذه الحقيقة بالاتصال فيما بينها ، أو معرفة أيهما ينتمى الى هذا النوع أو ذاك . ولكن الآن ، ومن خلال نتائج تحلل ميزون ك في معاملهما يمكنهما معرفة ذلك . ليست معلومة مهمة اذا كانا يخططان للقاء بينهما ؟

والأهم من ذلك أن هذا التحيز لنوع من المادة قد يمكن من تعليل سبب عدم التساوى بين النوعين في مرحلة الانفجار العظيم . ويتم ذلك على الوجه التالى : فى البدء كانت الطاقة ، ومنها خلقت أزواج الجسيمات .

وبسبب عدم التماثل الذى تم كشفه ، فانه مقابل كل بليون من جسيم يتصور بليون وواحد من الجسيم المضاد . ومع برودة الكون ، تتفانى البلايين من الجسيمات والجسيمات المضادة ، تاركة هذا الفرق الضئيل باقيا . هذه الجسيمات المتبقية كانت مغمورة فى اشعاع جاما ، بليون فوتون منها مقابل كل جسيم من المادة . هذا الاشعاع برد بدوره مع برودة الكون خلال تمدده ، متحولا الى اشعاع حرارى عادى والواقع، فان الخلفية الاشعاعية الكونية هي الاثر المتبقى من اشعاع جاما الذى غمر الكون فى بدايته .

ولو كان هذا التصور صحيحا ، فانه لن يفسر فقط كيفية تكون مادة الكون ، بل أيضا سيعلل درجة حرارة الخلفية الاشعاعية الكونية . فهذه الدرجة تتحد بنسبة الفوتونات للذرات ، والى الآن ، فان هذه النسبة هي من أهم وأغرب القيم فى علم الكونيات على الاطلاق ، فقد وجدت أن قيمتها العددية هي بليون لواحد ، بالضبط بالنسبة التى تشير اليها الحسابات من التحيز الضئيل بين المادة ونقيضها .

ولو كانت النظرية سائرة فى طريق صحيح ، فان وجود المادة دون نقيضتها فى الكون الحالى ليس هو التوقع الوحيد ذا المغزى الفلكى ، لان ما بنى يمكن أيضا أن يهدم . فنفس عدم التماثل الذى سمح للمادة أن تخلق من الطاقة خالية من نقيضتها ، يسمح أيضا باختفائها . فالنظرية تتوقع أن هذا ممكن لأن البروتون ، والذى كان لعهد قريب يعتبر جسيما غير قابل للتحلل ، سوف يتحلل الى البوزيترون بعد فترة من الوقت بالغة الطول ( ٣٠١٠ من السنوات ) . ولو صح التوقع ، فان ذلك يعنى أن مادة الكون جميعها مصيرها للتبخر ، وان كان ذلك بعد وقت طويل . فحيث انه يوجد الكترون لكل بروتون ، فان هذه الالكترونات مآلها التصادم مع البوزيترونات الناتجة عن التحلل المشار اليه ، والفناء .

هذا التحلل فى حد ذاته عملية احصائية ، شأنها شأن كافة العمليات الكمية ، بمعنى أنه وان كان متوسط عمر تحلل البروتون طويلا لهذه الدرجة ، فانه مع العدد المهول منها فان هناك احتمالا لتحلل واحد أو

اثنين كل عام . وقد أجريت تجارب للبحث عن أية بادرة من هذا التحلل في خزانات مائية بنيت على عمق من سطح الأرض ، ولكنها لم تحقق نجاحا للآن .

ولو كانت التصورات السابقة صحيحة ، فإن المادة المضادة تكون ذات وجود من الدرجة الثانية ، مجرد حاصل ثانوى ناتج عن تصادم الجسيمات عالية الطاقة . وحيث انه لم تتأكد هذه التكهينات بوسائل مباشرة ، فإن تبقى قدر من المادة المضادة عن بدء الكون يظل مفتوحا . والمكان المتاح للبحث عن ذلك هو الأشعة الكونية .

وقد تم قياس كمية كبيرة الجسيمات المضادة فى الأجواء العليا من الغلاف الجوى عن طريق أجهزة مركبة فى بالونات . هذه الجسيمات تعزى فى أغلبها للتصادم بين البروتونات فى الأغوار السحيقة من الفضاء بين النجمى . ولكن لغزا آخر محيرا يلوح لنا . فعدد البروتونات المضادة أكبر بكثير من أن يعلل بذلك عند مستويات الطاقة المنخفضة . وأحد التفسيرات البديلة هو أنها نتجت عن الفناء الانفجارى لثقوب سوداء مجهرية تحت تأثير هوكنج الذى سنعرض له فى الفصل التاسع . ولكن التعليل الآخر هو أنها أثر مما كان موجودا منها خلال بدء نشأة الكون . وليس لأحد أن يقطع بتعليل لأصلهما الى الآن .

أما الكشف الذى لو تحقق يكون دليلا على وجود مادة مضادة باقية من منشأ الكون فهو نواة ذرة مضادة لمادة أثقل من الهيدروجين ، كأن تكون نواة هليوم مضاد . والهليوم هو العنصر التالى للهيدروجين فى الوفرة فى الكون ، ولذا فمن المعقول أن تكون نواته المضادة هى الأكثر احتمالا بعد نواة نقيض الهيدروجين ( وهى مجرد بروتون مضاد ) ، وتتكون من بروتونين مضادين ونيوترونين مضادين . وليس لمثل هذه النواة أن تتكون عشوائيا من تصادمات جسيمات عالية الطاقة فى الفضاء . فالهليوم المعتاد يتم تخليقه فى التفاعلات النووية داخل النجوم ، وقد كان تخليقه بوفرة فى عصر الانفجار العظيم . فلو أن نواة واحدة من الهيليوم المضاد تم اكتشافها لأعطت احتمالا بوجود نجوم مضادة .

ولسوف يبدأ البحث عن الهيليوم المضاد فى أواخر التسعينات ، بواسطة جهاز يسمى « أرمسترونج Armstrong » ، سوف يركب فى إحدى محطات الفضاء الأمريكية . وسيزود هذا الجهاز بمغناطيسات قوية مبردة الى قريب من الصفر المطلق ، تسبب انحناء الجسيمات المشحونة عالية السرعة من المادة والمادة المضادة التى سيتمكن التمييز بينها بواسطة كاشفات قوية ، حيث سيكون انحناء المادة فى اتجاه مضاد لاتجاه انحناء نقيضتها .

ولو أن النجوم النقيضة موجودة ، فسيستتبع ذلك وجود ما هو أقل من النجوم ، كالنيازك والمذنبات والكويكبات ذرات من الغبار الكونى ، مصنوعة من المادة المضادة . ويكون التساؤل المثير هو ماذا يحدث لو أن شيئاً من هذا القبيل دخل النظام الشمسى ؟

ليست الفكرة ممتعة بالمرّة ، فحجم حبة من الفاصوليا من المادة المضادة كفيلا باحداث انفجار يقارب قنبلة نووية ، وهو أمر لن يمر بلا انتباه . ولكن من الغريب أن انفجاراً من هذا القبيل قد حدث فى ١٣ يونيو عام ١٩٠٨ فى منطقة تنجسكا Tunguska بسيبيريا ، كان قد عزى لسقوط نيزك ، ولكن بعثة عام ١٩٢٨ فشلت فى وجود أى أثر لمثل ذلك النيزك رغم الدمار الهائل الذى عم المنطقة بأشجارها وغاباتها . وتعددت التكهّنات التبرير الحادثة من اقتراح بسقوط نيزك ثلجى ( محتمل تماماً ) ، الى مرور ثقب أسود ( غير محتمل بالمرّة ، على الأقل لعدم وجود أثر لعبوره الأرض من الناحية المقابلة ) . وقد اقترح ويلارد ليبى Willard Libby الحائز على جائزة نوبل لاختراع وسيلة الكربون المشع لتحديد الأعمار المادة المضادة كتعليل للحادثة . ولو كان قوله صحيحاً لكان هذا مؤشراً بوجود المزيد منها ، ولكن ليس لك أن تجزع ، فالدلائل ضد هذا الاقتراح كثيرة .

### منشأ الزمن والمكان

ان حقيقة مقدرة الفيزياء الحديثة للجسيمات على تقديم تفسير مقنع لأصل المادة هو انجاز رائع . ولكنه يفشل فى تقديم تفسير لأصل الكون

ككل ، حيث ان الكون يحتوى على ما هو أكثر من المادة . فهناك أيضا المكان والزمن ، أو الزمكان . ولقد رأينا أن الطاقة اللازمة لخلق المادة يمكن ارجاعها الى المجال التجاذبى للكون . ولكن لم نتوقف هناك ؟ بعض الناس يجادل بالقول بأن هذا ليس مثلاً للخلق من العدم ولكنه مجرد الرجوع بالتعليل الى الجاذبية . ويظل التساؤل عن المصدر قائماً . ولكننا هنا سنواجه بمعضلة ، فالجاذبية ليست مجالا موجودا فى الزمكان ، بل انها هى الزمكان . فالنسبية العامة تعامل الجاذبية معاملة هندسية صرفة ، أى على أنها تشكل للزمكان . وهكذا اذا كانت الجاذبية قد خلقت المادة ، فيجب علينا القول بأن الزمكان هو الذى خلقها ، ويرحل التساؤل الى كيفية ظهور الزمكان .

ويلجا كثير من الفيزيائيين الى العزوف عن التفكير فى هذا التساؤل، تاركين اياه لرجال الدين . ولكن آخرين يجادلون فى الأمر ، ذاهبين الى أنه يجب علينا أن نتوقع أن تكون الجاذبية ، وبالتالى الزمكان ، أشياء خاضعة للظواهر الكمية كغيرها من الأشياء فى الطبيعة . وفى هذه الحالة ، اذا كان الظهور التلقائى للجسيمات أمرا لم يعد مستغربا ، فلماذا لا نتقبل نفس الشيء للزمكان ؟

ويتطلب وضع وصف مرض لهذه العملية نظرية رياضية تضم الجاذبية والكم معا ، وهو ما ليس متاحا حتى الآن . ولعل نظرية كهذه يمكن التوصل اليها فى اطار توحيد قوة الجاذبية مع غيرها من قوى الطبيعة . ولكننا نعرف بالفعل ما يمكننا من لقاء الضوء على أهم خصائص نظرية من هذا القبيل ، ولبيان لماذا يمثل تحقيق هذا التوحيد النهائى مشكلة رياضية عويصة .

احدى المصاعب متعلقة بمدى العمليات الكمية التجاذبية . فلأن الجاذبية هى أضعف القوى المعروفة فى الطبيعة الى الآن ، فهي لا تلعب دورها على المستوى الذرى أو حتى نواة الذرة ، وهو ما تظهر فيه بوضوح كامل الخصائص الكمية للقوى الأخرى ، بل على مستوى قد يصل الى  $10^{-20}$  من هذا المستوى ، وعلى مسافة أقل من  $10^{-20}$  من السنتيمتر ،

وهو ما يعرف بمسافة بلانك Plank's distance ، نسبة الى ماكس بلانك واضع النظرية الكمية . والمقياس الزمنى المقابل لهذه المسافة ، وهو ما يعتبر الوحدة الكمية الأساسية للزمن ، هو الزمن اللازم للضوء ليعبرها ، وهو ١٠ - ٤٠ من الثانية ، والمسمى زمن بلانك Plank's time ويعتقد بعض الفيزيقيين أنه عند هذه المسافة يفقد الزمكان صفته كمتصل سلس ، ويتحول الى شيء رغوى . وعلى وجه الخصوص ، فان « فقايع » من الزمكان « التقديرى » يمكن أن تظهر وتختفى على نفس نمط ما تفعله الجسيمات التقديرية .

فعلى مستوى بلانك ، يمكن للزمان نفسه أن يتحول الى التلقائية والخروج عن روابط السببية ، من خلال التذبذبات الكمية . ولا يزيد نطاق كل زمان عن مسافة بلانك ، ولا يدوم الا لزمن بلانك . وبقول أكثر دقة ، فان مفهوم الزمن فى سريانه يتلاشى عند هذه المسافة الزمنية ، فالزمان لا يكاد يظهر حتى يختفى . وقد كان الشغل الشاغل للفلكيين هو امكانية أن (زمان) على شكل الفقاعات التى تنشأ فى الفراغ من لاشيء ، أو كونا « تقديريا » بحجم متناه فى الصغر ، يمكنه تفادى الفناء اللحظى المحتوم ، ليتحول الى الكون المستقر الذى نعيشه . ويوجد آلية مقبول لذلك فيما يسمى السيناريو التضخمى infalatory scenario للكون .

والكى تنجح مثل هذه الحيلة ، فان الكون الوليد يجب أن يرفع من حجمه من العدم تقريبا الى مقياس ملموس . وعليه أن يقدح زناد هذه العملية بأسرع وقت ، خلال جزء الثانية التى يسمح فيها للتذبذبات الكمية أن تكون موجودة . وعليه لتحقيق ذلك الهدف غير العادى تفادى حاجز الجاذبية التى تحاول سحقه مرة أخرى الى العدم . ان المطلوب هو قوة طاردة ذات حجم خرافى ، يمكن بها الخروج من قبضة الجاذبية لياخذ الكون طريقه نحو التمدد .

## في قبضة الجاذبية المضادة

نعود الآن الى مفهوم الفيزيقيين للفراغ على أنه ليس مرادفا للخواء التام . فقد اتضح أن الفراغ الكمي يمكن أن يستثار الى مستويات أعلى من الطاقة . والفراغ المستثار سيبدو كالفراغ الحقيقي ( بمعنى أنه ظاهريا مفرغ من الجسيمات الدائمة ) بينما هو متأجج بتفجرات من الطاقة التي لا تدوم الا للحظات جد ضئيلة ، مطلقا طاقته في شكل جسيمات حقيقية . وخلال وجوده ، الفراغ المستثار ستكون له خاصية جد غريبة ، ضغط سالب هائل . وفكرة الضغط السالب يمكن تمثيلها بمط زنبرك ( في مقابل ضغطه ) ، فهو يجذب للداخل ، بدلا من أن يدفع للخارج . وقد يكون من المتصور أن كونا محتويا على ضغط كهذا يتحطم تحت تأثيره ، ولكن هذا القول ليس دقيقا ، ذلك أن فرق الضغط هو المؤثر . فالأسماك التي تعيش في أعماق البحار تعيش في وسط من ضغط هائل ، ولكنها لا تنسحق لأن هذا الضغط متساو من كل الاتجاهات .

وعلى الرغم من عدم توافر أية قوة ناجمة عن الضغط السالب ، فله تأثير تجاذبي ملحوظ . فطبقا للنسبية العامة ، فالضغط مصدر للجاذبية ، بالإضافة للجاذبية الناشئة عن المادة أو الطاقة . وفي الأحوال العادية فإن مساهمة الضغط في المجال التجاذبي كم مهملة ، فالضغط داخل الشمس مثلا يساهم بجزء من مليون جزء في قوتها التجاذبية . أما في الفراغ الكمي المستثار ، فالجاذبية الناشئة عن هذا الضغط لها السيادة على تلك الناتجة عن الطاقة والمادة . وحيث أن هذا الضغط سالب ، فإن تأثيره يكون سالبا أيضا ، أو في الواقع جاذبية مضادة . وعلى ذلك ، فانه لو حدث احتمال ظهور كون واحد من بلايين البلايين من الأكوان التقديرية في حالة مستثارة ، فإن الجاذبية المضادة ستتسبب في القوة الطاردة المطلوبة بالضبط لتسدفع بالفضاء للتمدد في شكل انفجارى عنيف .



ولكى تأخذ فكرة عن مدى عنف ذلك الدفع للخارج ، تصور أن الكون يتضاعف كل ١٠ - ٣٥ في هذه المرحلة التضخمية العنيفة ، ويستمر هذا التضاعف طالما كان الكون في قبضة ذلك الدفع الخارجى الهائل . هذا التضاعف يسمى الزيادة الأسية exponential ، وهى تؤدى الى معدل نمو كبير جدا (١١) . والعالم المرئى الذى نعيشه هو نتيجة لهذا المعدل الأسى للتزايد .

ولم تستمر هذه المرحلة التضخمية سوى فترة وجيزة . فحالة الفراغ المستثار بطبيعتها غير مستقرة ، وسرعان ما تتلاشى . ونتيجة لذلك فقد أطلقت الطاقة الهائلة المخزنة فى الفراغ المستثار على صورة حرارة وجسيمات للمادة . وما أن يتلاشى الفراغ المستثار ، حتى تختفى معه قوة الدفع للخارج الكونية ، ولكن كمية الحركة لهذا التمدد تجعله يستمر باقيا ، مسببا العنف الانفجارى الذى نربطه بالانفجار العظيم . وباختفاء الضغط السالب تستعيد الجاذبية دورها المعتاد ، لاعبة دور فرملة للتمدد ، مسببة نقص معدله الى المعدل الذى نشاهده اليوم .

ولا تقتصر أهمية التمدد التضخمى المفاجئ على مجرد الزيادة الرهيبة فى الزمكان فى فترة متناهية الصغر ، بل انه أيضا سيمحو ما قد يكون عليه توزيع الطاقة من عدم تساو ، بحيث توزع توزيعا عادلا خلال هذا التمدد التضخمى العنيف . وعلى ذلك ، فلنا أن نتوقع أن يخرج الكون من المرحلة التضخمية بتوزيع متساو بقدر كبير فى المادة وفى الحركة . فما الذى توحى لنا المشاهدات ؟

كما قدمنا فى الفصل الرابع ، فقد ظلت الخلفية الكونية الاشعاعية منذ نشأة الكون كما هى لم تتغير تقريبا ، وهى على ذلك شاهد يحتوى على بصمات الشكل الكون البدائى . والاشعاع متساو بشكل يثير الدهشة ، فلا تتغير شدته الا فى حدود جزء من مائة ألف جزء . ومن الواضح أن الكون الذى تمخض عنه الانفجار العظيم كان منتظما بقدر كبير ، وهو فى الواقع قد ظل منتظما على مستوى كبير للآن .

وفى ظل نموذج للانفجار العظيم لا يحتوى على مرحلة التضخم ، يكون هذا الانتظام أمرا مستغربا . فمن تراه كان المسئول عن ضبط الانفجار بتلك الطريقة التى تجعل كافة أجزاء الكون تتمدد بنفس المعدل فى كافة الأرجاء ؟ وتزداد العضلة عمقا حين نأخذ الأفق فى الاعتبار . فكما قدمنا فى الفصل السابق ، فإننا لا نستطيع رؤية أجزاء من الكون وراء حوالى ١٠ بلايين سنة ضوئية، حيث ان الضوء لما يصلنا منها بعد . وفى الماضى ، كانت المناطق المحتواة فى هذا الأفق أصغر نسبيا ، فبعد ثانية واحدة مثلا كان قطره ثانية ضوئية ( ٣٠٠ ألف كيلو متر ) فقط .

وبدفع الأمور مزيدا للخلف ، فإنه عند فترة تقدر بـ زمن بلانك كان الأفق قطره مسافة بلانك . والآن ، فطبقا للصورة التقليدية للانفجار العظيم ، والتى يتمدد فيها الكون بمعدل متناقص ، فإن حجم الكون الذى نراه الآن كان حجمه حوالى الملييمتر بعد فترة زمن بلانك، أى  $10^{-24}$  مرة قدر الأفق. ولما كان من المستحيل لأى تأثير أن ينتقل بأسرع من سرعة الضوء ، فإن هذا الكون كان ، وطبقا لتلك النظرية ، مقسما الى مناطق منعزلة من حيث الرؤية بسبب الأفق ، كل منها بحجم مسافة بلانك ، أى الى ٧٢١٠ منطقة غير مرئية لبعضها البعض تماما . فكيف أمكن لهذه المناطق أن تتناغم فى حركتها فى غيبة أى اتصال أو سببية تربطها ؟

ويحل التضخم هذه العضلة ، بسبب التمدد الفجائى العنيف الذى وقع بين  $10^{-35}$  و  $10^{-32}$  من الثانية . وفى التصور التضخمى كان الكون المرئى حاليا يبلغ من الحجم  $10^{-26}$  سنتيمترا بعد فترة زمن بلانك ، وهى مسافة فى نطاق سرعة الضوء عند ذلك الوقت . وعلى ذلك فانتظام الكون ليس مستغربا بالمرة فى التصور التضخمى .

وليس حل معضلة الأفق هو المكسب الوحيد من النموذج التضخمى، فهو يحل أيضا الغزا محيرا طال أمده ، متعلقا بمعدل تمدد الكون. فالتمدد الحالى هو أثر من التمدد الذى كان ، وفى النموذج التقليدى كان الكون

يتناقض معدل تمدده منذ البدء ، فلو كان الانفجار أقل قليلا لتهاوى الكون على نفسه مرة أخرى بتأثير الجاذبية ، ولو كان أعنف قليلا لتشتت المادة بما لا يسمح بتكون المجرات . والواقع أنه كان يظن أن الانفجار من الدقة في شدته لدرجة التوازن الدقيق للجاذبية بين هذين البديلين . وتقدم النسبية رابطة بين معدل التمدد والانحناء المتوسط للكون ، وفي حالة التوازن الدقيق المشار اليه يكون الانحناء صفرا ، ويكون مفلطحا الى مدى بعيد .

ومن المثير حساب درجة الدقة التي كان من الواجب تحقيقها . فبالرجوع الى زمن بلانك ( وهو أقل زمن يكون الحديث عنه ذا معنى ) ، فإن التوازن يكون في حدود جزء من ٦٠١٠ . هذه الدقة الخرافية بلبلت الكونيين طويلا .

وهنا تتدخل الصورة التضخمية للانقاز مرة أخرى . فمهما كانت شدة الانفجار ، فتأثيره سيمتص تماما مع الانفجار التضخمي . وعند نهاية المرحلة التضخمية سيكون الكون قد نسي تماما ما كان عليه قبل تلك المرحلة ، ولن تحمل الفترات التالية الا بصمات المرحلة التضخمية . وقد حدث أن الزيادة الأسية في التضخم قد تولد عنها توازن في تمدد الكون بالنسبة للجاذبية ، بدرجة أكبر من أن تستطيع قياسات البشر ملاحظتها . ولتقريب الصورة لسبب ذلك نتصور نملة عاقلة على سطح ثمرة عنب ، فهي قد تستطيع بسهولة ادراك أن الثمرة منحنية ، ولكن إذا كانت الثمرة قد انتفخت بما يعادل تضاعفا ل ٦٤ مرة ، فلن يمكن للنملة أبدا الاحساس بمدى ما أصبح عليه الانحناء .

وبالمثل ، يمكن للتضخم أن يحل جزئيا مشكلة مبدأ ماخ ، وتعليل لماذا لا يكون الكون دوارا . فأي دوران في البداية سوف يبطأ مع التمدد الكبير ، بالضبط كما تهبط سرعة انزلاق المتزحلقيين على الجليد مع مد أذرعهم .

هذه السلسلة من النجاحات تجعل نموذج التضخم محبباً للكثير من الكونيين . ولكن النموذج مع ذلك ليس بلا مشاكل ، أهمها على الإطلاق هي مشكلة انتهائه ، كيف عاد الكون سيرته الأولى ؟ فلكي ينتج التضخم آثاره يجب أن يستمر الى أن يتضخم الكون  $10^{25}$  على الأقل . وخلال هذه الفترة تهبط الحرارة تقريبا بنفس المعدل ، فتصل الى ما يقترب من الصفر المطلق . ومعنى ذلك أن الكون يبرد لحظيا تقريبا من درجة حرارة  $10^{27}$  كلفن الى حوالى الصفر . بعد ذلك يفتح الباب أمام رجوع الكون الى حالته المستقرة غير المستثارة . هذا التغير ، الذى يشبه بحالة تغير الماء الى بخار سائل ثم الى ثلج ، يحدث فى نهاية الفترة التضخمية بعد أن تفقد قوتها الدافعة . وحتى لا يحدث ذلك بسرعة أكثر من اللازم ، فإن النظرية فى صورتها الأصلية ، كما وضعها آلان جوث Alan Guth من معهد ماساشوسيتس للتكنولوجيا Massachusetts Institute of Technology اقترحت نوعا من التبريد الفائق تعرضت له مادة الكون

والتبريد الفائق ظاهرة قد تحدث للماء حين يبرد ببطء شديد ، حيث يمكن أن يظل فى حالة السيولة تحت الصفر المئوى بقدر قليل ، الى أن يحدث أى اضطراب يؤدي به الى التجمد . وبالمثل يمكن أن تكون الحالة المستثارة قد ظلت مستمرة مع هبوط الحرارة الى لا شيء تقريبا بسبب التضخم ، وبالتالي تمكن القوة الطاردة من الاستمرار فى نشاطها الى القدر اللازم من الانتفاخ ، ثم يحدث « التجمد الكلى » .

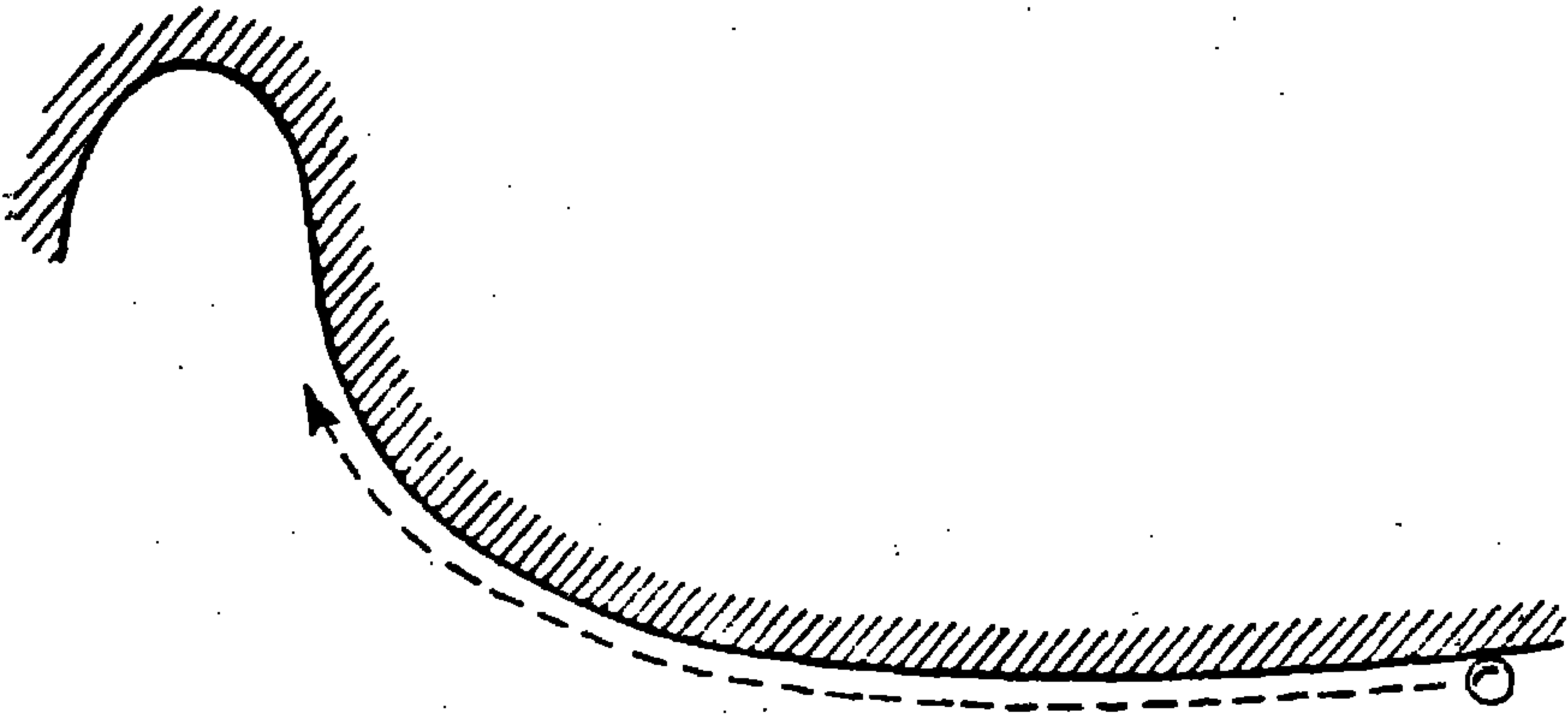
ولن تحدث هذه المرحلة البينية متماثلة فى كافة أجزاء الكون ، فعبارة فضفاضة يمكن القول بأنه تحدث فقاعات عشوائية من هذه الحالة ، وتنمو بسرعة الضوء ، ثم تتجمع معا الى أن تملأ الفضاء . داخل الفقاعة يتوقف التضخم فجأة ، معطيا طاقته لجدران الفقاعة . وحين تتصادم هذه الجدران عالية الطاقة ، تبت طاقتها على صورة حرارة ، معيدة الطاقة الحرارية الهائلة التى سبق أن أخذت من الكون أثناء التضخم . وعلى ذلك يعود الكون بصورة انفجارية عنيفة مرة أخرى الى حالة السخونة ، ولكن بلا قوة طاردة هذه المرة . وبعد هذا التسخين المعاد يمكن للكون أن

يعود للتمدد بالصورة التقليدية المتناقصة المعدل التي بدأها مع الانفجار العظيم ، متماثلا ، وقد تحرر من مشاكل الأفق ومعدل التمدد .

ورغم أن الخطوط العريضة لهذه الفكرة تبدو جذابة ، فإن المشاكل مخفية في تفاصيلها ، خاصة فيما يتعلق بالتصادم بين جدران الفقاعات . هذه الحوادث ستقع عشوائية وبلا ضابط ، ويبدو للوهلة الأولى أنها ستنتج نفس عدم التماثل الذي قامت النظرية للتخلص منه . ولم يحدث اتفاق الآن على حل هذه المشكلة التي أصبحت تعرف باسم « الخروج السلس graceful exit » ، ولكن عددا من الاقتراحات قدمت بهذا الشأن .

أحد هذه الاقتراحات هو أن الفقاعات تتضخم بدرجة كبيرة قبل التصادم ، بحيث أننا نعيش في منطقة من الكون وراء الأفق من مثل هذه الجدران ، وخارج نطاق أية اضطرابات تحدث بسبب هذه التصادمات . واقتراح آخر يذهب إلى أنه بدلا من اللجوء لفكرة التبريد الفائق ، فإن المرحلة البينية نفسها تأخذ شكل عملية بطيئة .

ولتقريب الصورة ، تخيل كرة مستقرة في توازن حرج على قمة تل مواجهة لمنحدر ( الشكل ٢٧ ) ، عند أي اضطراب تبدأ الكرة في التدرج



الشكل (٢٧) : تمثل الحالة المستقرة غير المستقرة الفراغ الكمي للكون في بدايته. كرة موضوعة على قمة منحدر بصورة غير مأمونة ، وإذا كان الانحدار ضحلا ، فإن زمن الهبوط يكون طويلا ، مما يعطي التضخم فرصة للحدوث قبل أن تفقد الطاقة على هيئة حرارة .

هابطة لقاع الوادى ، حيث تصل لحالة الاستقرار . وتقابل قاع الوادى حالة الفراغ المستقر ، بينما تمثل قمة التل الحالة المستثارة . لو تصورنا أن الانحدار ليس حادا عند القمة ، فإن الكرة ستبدأ التدرج ببطء ، ويقابل ذلك قولنا ان التغير فى طبيعة الفراغ كان طفيفا فى البداية ، رغم أن التضخم قد بدأ . ويحوم شك كبير فى أن العمليات الكمية التى تحكم فى المرحلة البينية قد تصرفت بالفعل على هذه الصورة .

والتصور التضخمى للكون ما زال فى مرحلة الطفولة ، وما تزال التعديلات جارية عليه . والكثير من التفاصيل معقدة وتعتمد على حساسية النماذج التى تضعها النظريات . ومن السابق لأوانه الاعلان عن نجاح النظرية ، الا أنها تحتوى على خصائص تحل غوامض لم تكن لتحل بدونها ، مما يجعل الاغراء قويا بتصور أن حالة من التضخم قد عاصرت الكون فى نشأته .

واذا قدر للنظرية التضخمية أن تحقق النجاح ، فإنها سوف تقدم لنا ميكانيزم مقنعا لتحول الكون التقديرى الكمى الى الكون المتمدد المألوف ، مما يتيح لنا التأمل فى رأى الدينى فى الخلق من العدم *ex nihilo* . ففقاة دقيقة من الزمكان تطفر فجأة وبشكل شبحى ليتحقق لها الوجود الدائم نتيجة للاضطرابات الكمية ، بينما يقوم التضخم بالسيطرة عليها وهى تتمدد الى حجم مرئى ، بعد ذلك يحدث التجمد الذى يبدأ به انخفاض معدل التمدد وسط انفجار حرارى ، ومن الحرارة الكونية والجاذبية تخلق المادة ، ويبرد الكل تدريجيا وينخفض معدل التمدد الى الظروف التى نشاهدها حاليا .

يبدو أننا كسبنا شيئا من اللاشئ ، فى تعارض مع المبدأ الذى نادى به الفيلسوف لوكريتيون بأنه « لا شئ يمكن أن يأتى من اللاشئ » . وكما قال ألان جوث ذات يوم : « يقال عادة انه لا يوجد شئ يسمى وجبة بلا مقابل ، ولكن يبدو أن الكون هو أكبر وجبة بلا مقابل يمكن تصورها » . أحقا هو كذلك ؟ ان كل الأشياء الجميلة مآلها للفناء ، والكون ليس استثناء من ذلك ، فقد تحدد مصيره النهائى مع الثانية الأولى من نشأته .

## هوامش الفصل الخامس

(١) مترجم - بتصرف - بواسطة مدوح الموصلى أستاذ الفيزياء بجامعة عين شمس ، الناشر « الغد للنشر والدعاية والاعلان » ، ٥٦ شارع ٢٦ يوليو القاهرة - ( المترجم ) .

(٢) رغم أنه ليس المقام لاعطاء تاريخ تفصيلى لتطور الفيزياء الكمية ، فاننا نود أن نؤكد على كافة هذه الأفكار ، مثل المضامين غير المتفقة مع المنطق البديهي فى النظرية النسبية ، قد تأكدت من خلال العديد من التجارب كوسيلة صحيحة فى وصف الطريقة التى يعمل بها الكون . بل ان فشل فيزياء نيوتن فى تفسير نتائج بعض التجارب هى التى أدت لظهور الحاجة لنظريات جديدة ، فالنظرية الكمية تعطى بالفعل وصفا دقيقا كيفية نشاط الأشياء على المستوى دون الذرى .

(٣) طبقا لمعادلة بلانك الكمية ، فان كم الطاقة يزداد كلما زاد تردد الموجة ، أى قل طولها الموجى - ( المترجم ) .

(٤) تسمى أحيانا ميزون باى - ( المترجم ) .

(٥) تسمى هذه الظاهرة « اشعاع هاوكنج » - ( المترجم ) .

(٦) من المبادئ المسلم بها أن النظم الفيزيائية تعمل الى التحول الى مستويات الطاقة الأدنى .

(٧) اطلاق اسم « الاشعة على الاشعة الكونية هو من قبيل التجاوز ، فهى ليست أشعة على الاطلاق ، ولكنها جسيمات كما ورد فى المتن ، وهو السبب فى أن الكلمة وردت فى المتن بين علامتى تنصيص اشارة لعدم دقتها - ( المترجم ) .

(٨) حصل عليها ديراك عام ١٩٢٣ ( مع شروينجر ) ، واندرسون عام ١٩٣٦ - ( المترجم ) .

(٩) يشك الفلكيون فى أن توجد « مادة سواد » تملأ الفضاء بين المجرة .

(١٠) حصل معا على جائزة نوبل عام ١٩٨٠ - ( المترجم ) .

(١١) يصور اثر التضاعف ، أو الزيادة الأسية ، فى القصة الشهيرة لوضع حبة أرز فى أول مربع فى رقعة الشطرنج ، ثم مضاعفتها كل مرة مع المربعات التالية ، فيكون المطلوب فى المربع الأخير ٦٤ حبة ، أى حوالى ثمانية عشر بليون حبة ، ( وهو انتاج العالم من القمح لعدة قرون - ( المترجم ) . وبالمثل فانه بعد ٦٤ من الفترات الزمنية متناهية الصغر المذكورة فى المتن ، فان كونا فى الحجم المبين يصل الى حجم نواة الذرة ، ثم فى الفترة التالية مباشرة ( الخامسة والستين ) يصل الى كيلو متر كامل .

## الفصل السادس

### ...والأخيرة

ربما كانت أهم خصيصة تميز بها الساعة الكونية الموهولة ، هي أنها ما أن تبدأ في العمل حتى تستمر في عملها للأبد دون تدخل خارجي ، فمستقبلها لا يتحدد إلا بماضيها . وفي الفصول السابقة عرضنا لتصور جديد للكون ، فيه المستقبل مفتوح لشتى الاحتمالات ، حيث للعفوية والجدّة دور غير منكور . ولكن هناك وجهة نظر معينة يلتقي فيها كلا التصورين ، وهو المتعلق بالمصير النهائي للكون بأكمله . ذلك أنه على الرغم من كون جزء معين منه غير محدد المستقبل قطعياً ، فإنه حين نأتي للكل فإن قوانين النسبية والكم ليست أقل من قوانين نيوتن حتمية . فإن الرؤية المتفحصة لتلك القوانين تبين أن قضاء الكون متوقف على طبيعة نشأته .

وكما بينا في الفصل السابق ، فالكون الآن في قبضة جاذبيته الذاتية ، ولا يحول بينه وبين الانهيار على نفسه إلا القوة التي أدت به للتمدد ، والتي اكتسبها من الدفعة التضخمية بعد فترة وجيزة من ميلاده . إلا أن التمدد يتباطأ بالتدريج ، ويثور التساؤل عما إذا كان في طريقه للتوقف ، ثم التحول إلى الانكماش . ومن المستحيل بالملاحظة المباشرة أن نؤكد أن هذا هو ما سيحدث (١) ، ولكن بعض الآراء ترى ذلك على أسس أشد عمقا . فعلى سبيل المثال ، من المحتمل أنه في فضاء



مغلق فقط يمكن لمبدأ ماخ أن يتحقق . والأكثر من ذلك ، فقد اقترح هوكنج نموذجا مقنعا للأصل الكمي للكون يكون فيه الكون منغلقا .

وقد يكون التضخم قد أدى لانتفاخ الفقاعة الى حجم كبير ، لكنه لا يمكن على الإطلاق أن يحول (زمكان) منغلقا الى آخر مفتوح ، ففي هذه الحالة ستكسب الجاذبية معركتها في النهاية لا محالة . وبذلك سيتوقف التمدد ، ثم يبدأ الكون في الانكماش الى حجم متناه في الصغر ، الى أن يفنى في مفردة . وقد يستغرق ذلك وقتا طويلا للغاية ، ترليونات بعد ترليونات من الأعوام ، ولكن صورة الثانية الاخيرة ستكون صورة منعكسة من الثانية الأولى ، تتحول فيها المادة الى طاقة ، وتشوه الطاقة نسيج الزمكان الى أن تحيله الى تقوس مهول حول نفسه يتزايد الى أن يؤدي لاختفائه كلية من الوجود . على أية حال ، فتواجد الكون كان على حساب قرض من الفراغ ، وكل ما فعله التضخم هو تأخير ما لا مندوحة عنه . ففي فيزياء الكم يمكن لشيء أن يظهر من العدم لفترة ، ولكن القرض سيسدد في النهاية .

### نهاية الزمن ؟

ويشار لنهاية الكون على الصورة المبينة بـ « الانسحاق العظيم big crash » ، أو أحيانا بـ « نقطة أوميغا omega point » وهو ما يشبه إعادة الانفجار العظيم بالعكس ، فبدلا من ظهور الكون فجأة من العدم ، فانه يندفع غائرا في العدم ، غير مخلف شيئا وراءه . والعدم هنا يعنى حرفيا - العدم ، فلا مكان ، ولا زمن ، ولا مادة . فالانسحاق العظيم هو النهاية الكاملة للكون الفيزيائي ، فنقطة أوميغا هي نهاية الزمن . ولا يوجد توقع علمي أخطر من ذلك التحذير من الكارثة النهائية ، والذي يحمل معه تنبؤا لا يقل عنه خطورة ، وهو أن كل المادة التي نشاهدها اليوم ، كافة المجرات مجتمعة ، لا تمثل سوى شيء يقارب واحدا في المائة من محتوى الكون من المادة .

وهذا التوقع مرتبط بما تتطلبه نظرية الجاذبية على الوجه المبين

فى الفصل الرابع ، من أن يكون الكون منغلقا ، وما تبينه المشاهدات من أن الفضاء مستو بقدر كبير . ويمكن من الحسابات المباشرة معرفة القدر من المادة فى كل متر مكعب من الفضاء المطلوب لاجداث الجاذبية التى نشاهدها اليوم ، والتى تبين المشاهدات أن ما يرى من مادة قد لا يمثل سوى جزء من عشرة أو حتى من مائة من ذلك القدر .

واذا كان المنظرون يرجعون حاجتهم لافتراض وجود المادة السوداء الى أهميتها فى تفسير شكل الكون ، فان نفس الحاجة تلوح لدى الكونيين لتبرير حركة المجرات ، والتى تبين الدراسات أنها فى قبضة جاذبية أقوى مما تتيحه المادة المرئية . ولا يعلم أحد كنه مثل هذه المادة ، وان كان أفضل افتراض بخصوصها أنها شئ متبقى من الانفجار العظيم .

وتشير أعمال المنظرين الى أن الانفجار العظيم قد أفرز ، بالإضافة الى الجسيمات المكونة للمادة من الكترونات وبروتونات وغيرها ، أنواعا أخرى غريبة . من ذلك جسيم « النيوترينو *neutrino* » ، وهو الجسيم الماروغ الذى يمكنه أن يخترق جدارا من الرصاص بسبك سنة ضوئية ، والذى يفوق البروتون عددا بنسبة بليون الى واحد . انها بقية باقية من الميل ثانية الأولى . كما يوجد أيضا ما يسمى الأكسيون *axion* والفوتينو *photino* ، والجرافيتينو *gravitino* ، والتى ترجع لعصر أسبق . هذه الجسيمات ضعيفة التفاعل مع المادة لدرجة أن شيئا منها لم يشاهد للآن ، ولكن الأبحاث مخططة لاقتناص بعض منها فى القريب . على أن الجاذبية المجمعة لهذه الجسيمات يمكن أن تكون المسيطرة على الكون ، والمحددة لمصيره النهائى . فالعمليات هائلة الطاقة التى تمت فى الكسر من الثانية الأولى ، يمكن أن تكون قد أنتجت من جسيمات غريبة غير مرئية بالقدر الذى يمكن أن يبين المكان الحال الكتلة الطاقة المطلوبة لتحديد المصير النهائى للكون .

وتأتى الشواهد على أن تأثيرا غير مرئى يمارس نشاطه فى الكون من دراسة طريقة توزيع المجرات فى الفضاء . ومع التاكيد على التوزيع المتساوى بقدر مدهش للكون على مدى اتساعه ، فاننا نشير بذلك الى

متوسط التوزيع على مساحات شاسعة ، معترفين بعدم تحقق ذلك على المستوى المحلى . وعلى الرغم من أن التساوى على المدى الواسع هو مفتاح فهم الظروف الأولية ، فإن عدم التساوى على المستوى المحلى له نفس القدر من الأهمية ، لبيان كيفية بدء الحيوود عن ذلك التساوى فى العصور السحيقة ، وربما أيضا المصير النهائي للكون . وتشير الدراسات الى أن مثل هذا الخروج عن التساوى يعطى رؤية لكل من بدء ونهاية الزمكان ، أى الثانتين الأولى والأخيرة .

### ربط أشلاء الكون

من النظرة العابرة للسماء فى الليل يتضح أن النجوم ليست موزعة بالتساوى فى الفضاء ، ولكنها متكوبة فى مجموعات . وأوضح شاهد على ذلك درب التبانة . وكما ذكر فى الفصل الرابع ، فإن ما يقرب من مائة بليون من النجوم ، بما فيها الشمس ، تكون درب التبانة ، والتي تأخذ شكل العجلة ، ويغطى الجزء المرئى منها مسافة ١٠٠ ألف سنة ضوئية عبر السماء . ولنتذكر أن هذه المجرة ذاتها هى عضو فى مجموعة تكون كوكبة cluster مجرية ، وأن الكوكبة بدورها عضو فى كوكبة فائقة supercluster ، تضم عدة آلاف من المجرات . وتظهر لنا المراقيب القوية أن هذا التشكيل الهرمى سائد على مدى اتساع الكون .

وأصل هذا التشكيل الكونى هو من ألغز المواضيع فى العلم الحديث . لماذا لم تتوزع المادة بالتساوى عبر الكون ؟ ما الذى دفع بالمادة الى التجمع فى مناطق معينة من الفضاء ؟

ومن المغزى أن نعيد أصل هذا التكوين الى الظروف الأولية ، لنسعى أن الكون ببساطة قد خلق هكذا ، وأن هذا التكوكب قد فرض عليه منذ الميلاد . ولكن هذا الرأى قد عارضته دراسة الخلفية الاشعاعية الكونية ، وهو الاشعاع الحرارى المتخلف عن الانفجار العظيم . فدراسات الاختلافات الدقيقة فى حرارة الاشعاع الآتى من المناطق المختلفة فى السماء كانت ستبين عدم الانتظام الذى ساد فى الغازات الساخنة التى ملأت الكون فى

فترة مبكرة تعود الى مليون عام بعد الانفجار العظيم . في تلك الحقبة ،  
والتي تبعد عنا بعشر بلايين من الأعوام ، تسبق عصر تكون المجرات .  
وتبين نتائج ذلك المسح أن الكون كان منتظما بصورة مذهشة ، دون أية  
إشارة الى هيكلية واسعة المدى . كما أن النجاح الذي حققته النظرية  
التضخمية في تبرير ذلك يزيد من غموض لغز وجود عدم انتظام على  
مستوى مجرات وكوكبات مجرية نمت بالكون بعد المليون الأولى من  
الأعوام .

وعلى الرغم من الانتظام في توزيع مادة الكون في الحقبة الأولى ،  
فإن قوة الجاذبية كان من شأنها أحداث تشوهات تنمو باستمرار بمجرد  
انتهاء التضخم . وما أن يبدأ تجمع من المادة في منطقة ما حتى تعزز  
الجاذبية من المزيد من التجمع ، مع ازدياد في معدل العملية . وبهذه  
الطريقة يكبر أية زيادة في الكثافة . ولكن زيادة معدل تجمع المادة يعارضه  
تمدد الكون ، وبالتالي فإن معدل التجمع للمادة يكون أبطأ من أن يبرر  
تكون المجرات من مجرد سوء توزيع عشوائي لكثافة المادة لكون بدأ  
منتظما بصورة تامة .

لابد اذن من عامل تسبب في بدء العملية ، بايجاد « بذرة » مجرية  
تتجمع حولها المادة بصورة فعالة . وقد اتجه الفلكيون لفترة طويلة الى  
القول بأن الكون « هكذا كان » ، ولكن ذلك بالطبع لا يمثل تعليلا ، فهو  
لا يزيد عن القول بأن الأمور على ما هي الآن لأنها هكذا كانت . وفي  
الآونة الأخيرة ظهر احتمال لايجاد تبرير لعدم التساوى في كثافة المادة ،  
مبنى على عمليات تمت في كسر الثانية . تذكر أن التضخم دام فقط  
للمدة التي استمرت فيها حالة الفراغ المستثار ، وانتهت بمجرد استعادة  
الفراغ لحالته المستقرة . ولكن عملية التلاشي ، شأنها في ذلك شأن كافة  
العمليات الكمية ، معرضة للتغيرات ، بما يوافق مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج .  
وعلى ذلك فالتضخم لم يتوقف في كافة المناطق في نفس اللحظة ، وأهم  
نتيجة لذلك هو عدم التساوى في الكثافة في الكون عما كان أثناء فترة  
قبل التضخم . وعلى ذلك فالتضخم كان له أثره المزدوج في محو التغيرات

السابقة عليه وخلق تغيرات خاصة به . والأكثر من ذلك ، فهذه التغيرات قد اتضح أن لها نفس التوزيع الذى يتطابق مع الشكل العام الذى نراه اليوم . ولو كانت هذه النظرية تمثل وصفا حقيقيا للكون ، فانها تعنى أن التغيرات الكمية المجهرية ، والتي تولدت مع عدم يقين كمي ، يمكن أن ترى عبر السماء ، أى أن المجرات ما هى الا بقايا تغيرات «متجمدة» لعصر لا يتجاوز ١٠ - ٣٢ من الثانية .

وعلى الرغم مما لنظرية التغيرات الكمية من وجهة ، الا أنها ليست بلا مشاكل . فقد بينت حسابات عديدة مثلاً أن التغيرات فى الكثافة ستكون من الكبر بدرجة لا تتوافق مع ما يشاهد من عدم انتظام الكون اليوم . كما أن هناك مصاعب فنية تجعل الفكرة أقل جاذبية . على أنه توجد نظرية منافسة تحاول أيضا أن تفسر دفع المجرات للكون ، وهى أيضا تلجأ للمرحلة التى فيها تتلاشى المرحلة المستثارة من الفراغ . هذه النظرية تشابه بين تلك المرحلة وبين ظاهرة مألوفة هى ابتداء مغنطة الحديد . فعند تسخين الحديد المغنط الى درجة أعلى من درجة معينة ، تسمى «نقطة كورى Curie point» فإنه يفقد مغنطته . وعندما يبرد الحديد فإنه يستعيد حالة المغنطة بصورة فجائية ، على أن المغنطة لا تكون بنفس الصورة التى كانت عليها ، بل يتجزأ المجال المغناطيسى الى مناطق ، لكل منطقة اتجاهها الخاص لمجالها . وبناء على ذلك اقترح أن تبريد الكون قد تولد عنه أن كانت قوى الطبيعة مشتتة الاتجاهات بنفس الصورة .

ولمناطق التجاور بين تلك المناطق أهمية خاصة ، لأنها بصفة عامة مناطق من عدم التوافق بين الاتجاهات على جانبي الحدود الفاصلة . وينتج عن ذلك نوع من تشويه الموضع ، مسببا شيئا أشبه بالعقد . وقد عرضنا لهذا النوع من التشويه الطبولوجى فى الفصل الثانى ، والذى من خصائصه تكوين سلسلة من الأنابيب الرفيعة ، خارج كل أنبوبة الفضاء الكمي المعتاد الذى نشاهده اليوم ، ولكن بداخلها سيحبس الفضاء على حالة الاستثارة السابقة . ويتولد عن ذلك ما يسمى بالوتر الكونى cosmic string ، وهو شيء ليس مصنوعا من مادة ما ، بل هى أنابيب من

الطاقة المجالية . فاذا كان شيء من ذلك موجودا حقيقة ، فانها تكون اشبه  
بكبسولة تجمد فيها الزمن عند اللحظة ١٠ - ٣٥ من بدء نشأة الكون .

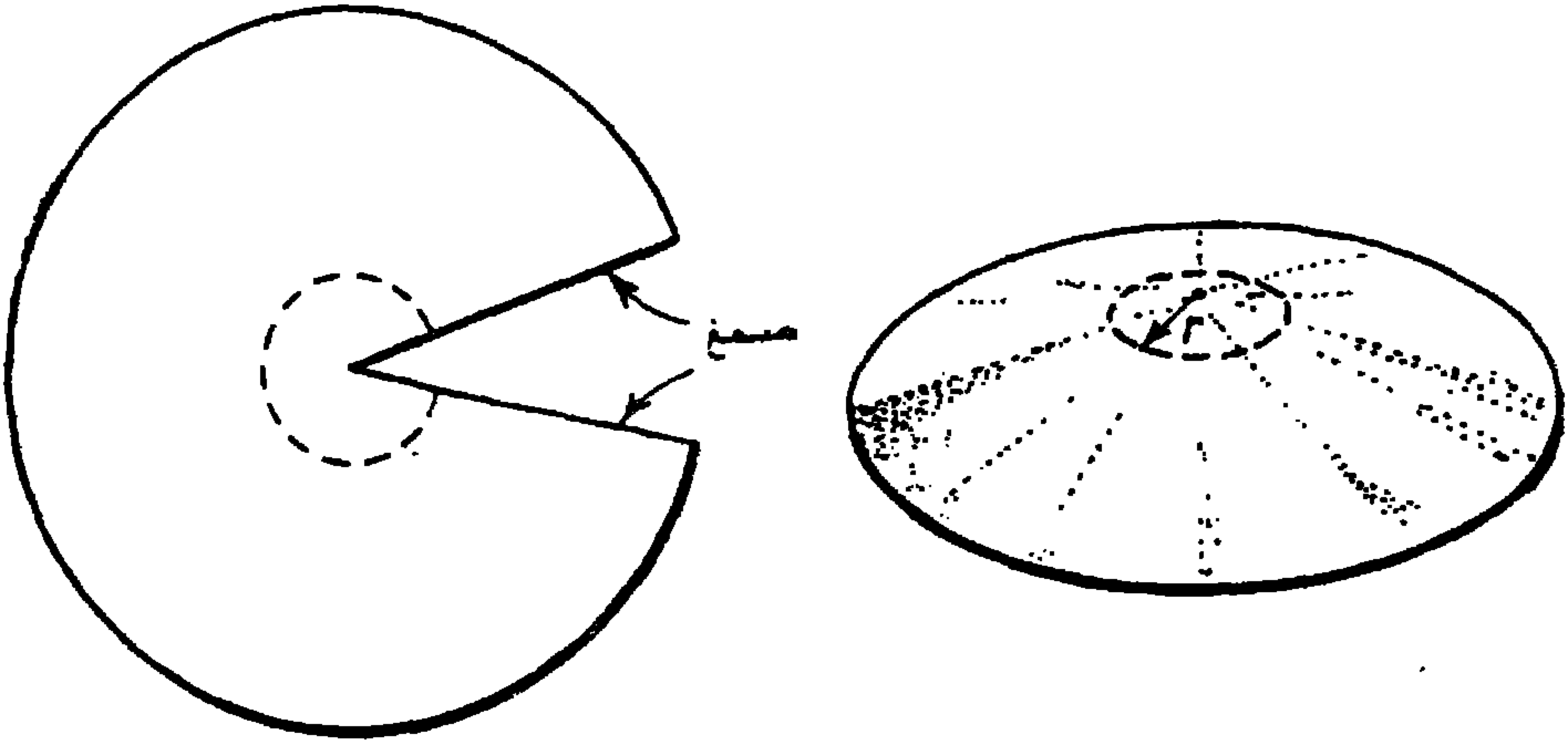
ويفترض أن للأوتار الكونية خواص مغريبة . وفي أكثر صور  
النظرية اتفاقا عليها فهي لا يجب أن تكون ذات نهايات ، بمعنى اما أنها  
لانهائية الطول عبر الكون ، أو ذات حلقات مغلقة . ويبلغ من درجة تركيز  
المجال بداخل الوتر أن كيلومترا من طولها قد يبلغ وزن الأرض ثقلا .  
ولكن مغزى ذلك يظهر حين تتخيل ما عليه تلك الأوتار من نخافة ، جزء  
من المليون - ترليون - ترليون من السنتيمتر . ولتصور ذلك فان وطرا  
طوله عبر الكون كله ، لا يشغل من الفراغ اذا تكور الا أقل من حجم  
الذرة ، وأن وزن هذه الكرة دون الذرية يكون ٤١٠ طنا ، أى ما يساوى  
وزن كوكبة قاتقة من عدة كوكبات مجرية !

والخاصية الغريبة الأخرى هي أن الأوتار رغم هذه الكتلة المهولة  
لكل وحدة طولية منها ، لا تمارس أية قوة جاذبية على الأشياء المجاورة .  
فهي رغم أن لها قوة جاذبية هائلة ، لها فى نفس الوقت قوة ضغط  
معادلة ، لكونه ذا جاذبية مضادة ، على نفس الصورة التى أوجدت  
التضخم .

وليس معنى ذلك أن الأوتار لا تسبب أى تأثير تجاذبى على الإطلاق،  
بل العكس هو الصحيح . فعلى الرغم أن الوتر لا يسبب تقوس الفراغ  
حوله ، فانه يسبب تشوها من نوع آخر ، يمكن تصويره على الوجه التالى :  
تصور شخصا دار حول وتر منها دورة كاملة ، فبحسب المؤلف لنا نتوقع  
أن يكون قد استدار ٣٦٠° ، الا أنه فى الواقع سيكون قد دار بأقل من  
ذلك من الدرجات .

ويمكن أن نوضح ذلك بتصور قطع جزء مثلث من قطعة ورق على  
شكل دائرة ، ثم إعادة لصق الورقة الأصلية ، لتتخذ شكلا مخروطيا ،  
بالصورة المبينة فى ( الشكل ٢٨ ) . فرغم أن المحيط لم يزل دائريا ،

الا أنه قد أصبح أقصر . ويقابل سطح الورقة في مثالنا جزء من الفراغ متعامد على الوتر ، ورأس المخروط نقطة تلاقي الوتر مع ذلك الجزء ، ويكون تأثير الوتر هو اقتطاع جزء من الفراغ بنفس الصورة ، واعطاؤه شكلا « مخروطيا » .

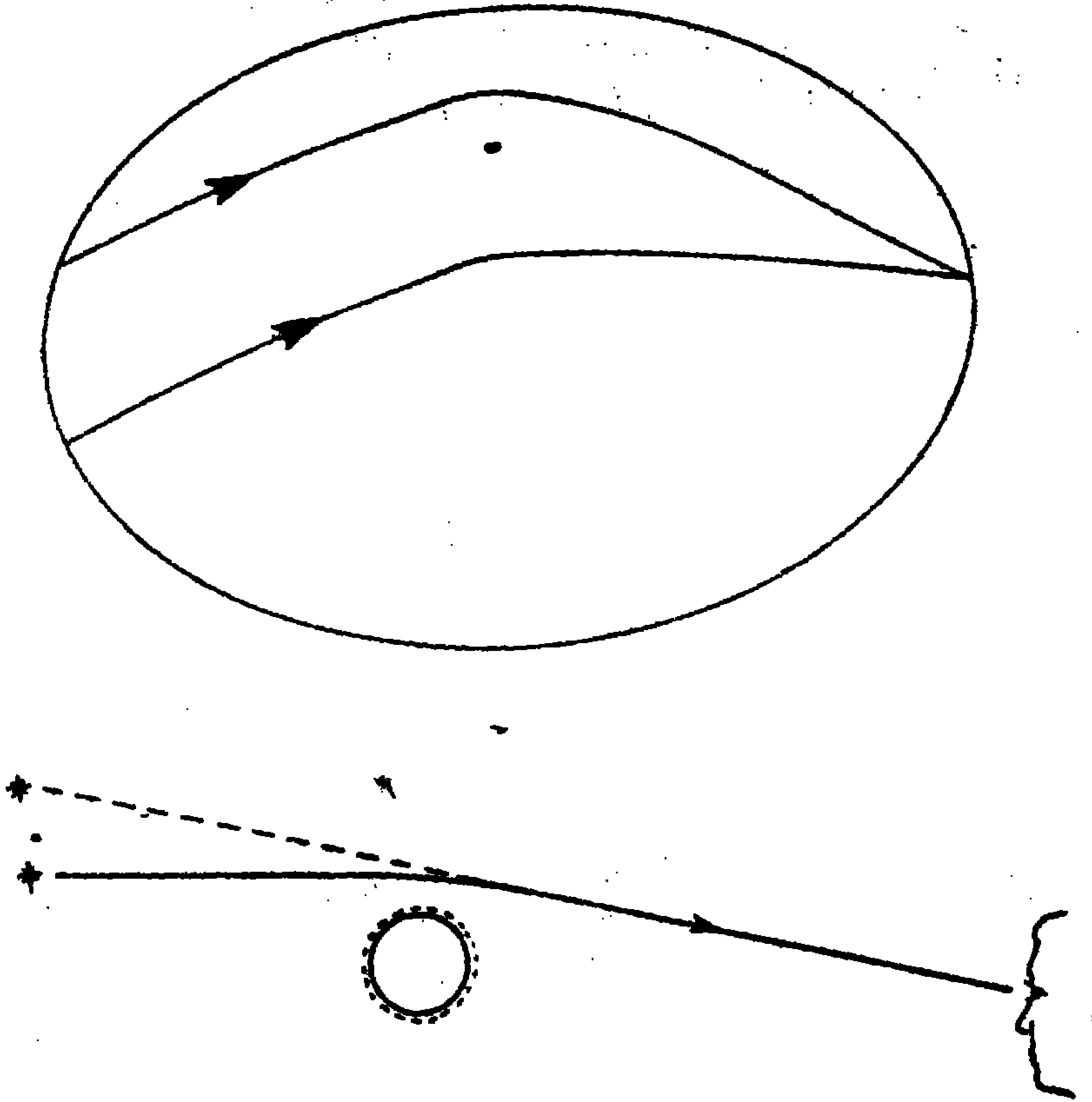


الشكل (٢٨) : حين يقطع جزء من قرص مسطح ، ثم يعاد لصق القرص ، فيتكون الشكل المخروطي المبين . ولهذا الشكل خاصية أن الدائرة المرسومة على سطحه ومركزها قمة المخروط تكون أقل من ٢ ط . ويكون الفضاء في اتجاه متعامد مع وتر كوني مماسا لهذا الشكل المخروطي .

ولهذه الزاوية المفقودة تأثيرات هامة . من ذلك أن شعاعين متوازيين من الضوء عند مرورهما على جانبيين من الوتر سوف ينحرفان ليتلاقيا ، ويكون تأثيره أشبه بالعدسة الضوئية . فإذا وقع الوتر بين مجرة ومشاهد على الأرض ، فانه يرى صورتين متطابقتين لتلك المجرة ( الشكل ٢٩ ) . وقد شوهدت بالفعل أزواج عديدة من صور متطابقة لكوازارات ، الأمر الذي يوحي أن كل زوج هو لكوازار واحد .

ولكن للأسف ! فان تأثير العدسة قد ينتج أيضا عن مجرة أو ثقب أسود ، وبذلك لا يمثل دليلا على وجود الأوتار الكونية . على أن الدراسة الدقيقة لأزواج الصور قد يميز بين ما يحدث منها بسبب الأوتار وما يحدث بسبب الأجرام الفلكية . كان تكون الصورة المتكونة بتأثير الوتر ذات حواف حادة .

## استنطورة المادة



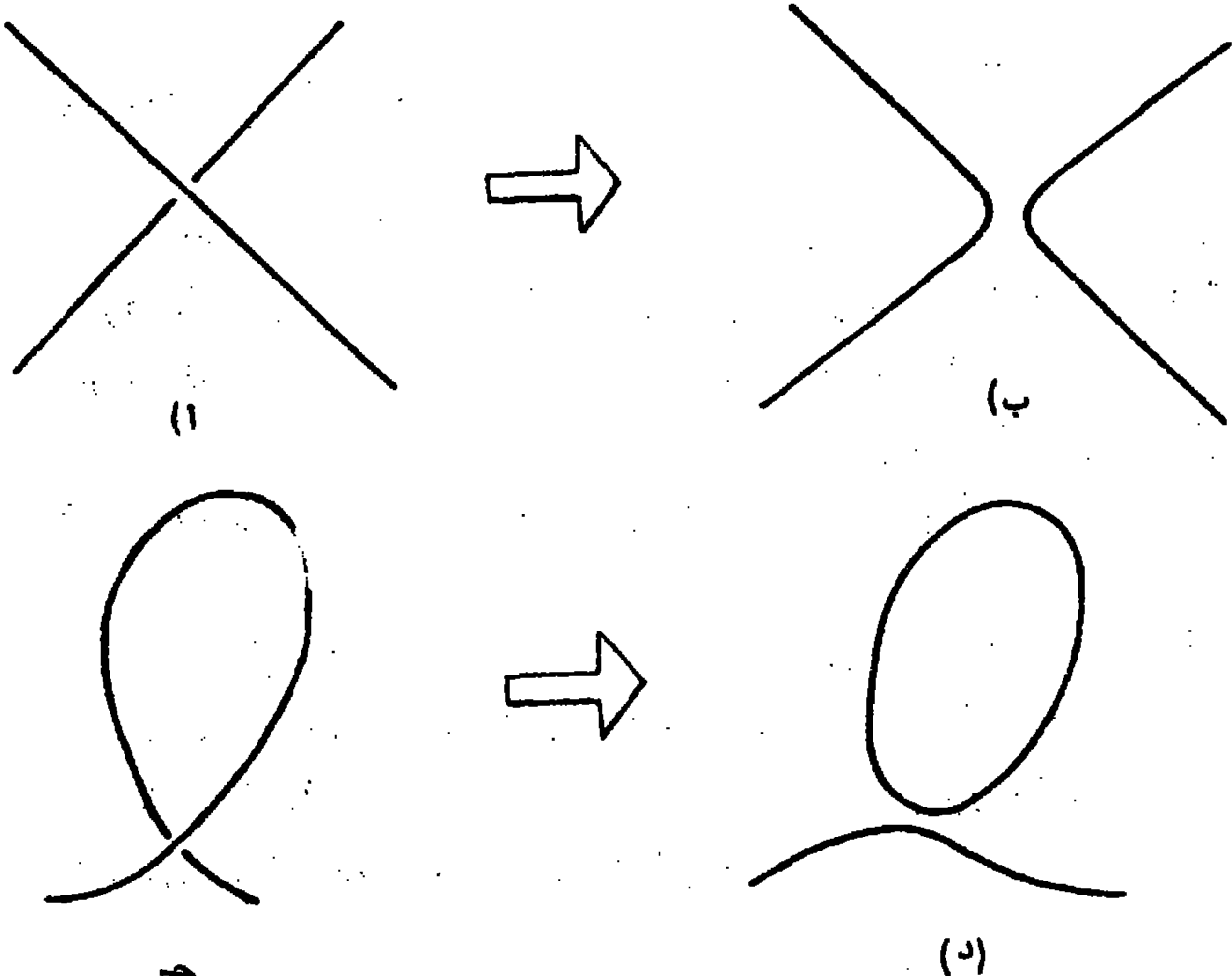
الشكل (٢٩) : الأشعة المتوازية حين تنتقل في فضاء مخروطي الشكل فتتلاقى في النهاية ، كما لو كانت صادت عدسة ، ويرى المراقب صورتين لمصدر الضوء ، وليس واحدة .

ومن التأثيرات الممكنة ملاحظتها هو ما يحدث خلال حركة الأوتار معترضة خط النظر . فالضوء القادم من أجسام بعيدة له خاصية الانزياح تجاه اللون الأحمر ، وهذا الانزياح يعتبر مقياسا لسرعة تباعد الجسم عنا . فلو أن وترا كونيا اعترض مسار الأشعة بيننا وبين الجسم المرئي ، فإن تغييرا مفاجئا في الانزياح الأحمر سوف يمكن ملاحظته . ونفس التأثير سوف يلاحظ على الخلفية الإشعاعية الكونية ، حيث سيحدث تغير مفاجئ في درجة حرارتها على جانبي الوتر .



ورغم أن الوتر ذا الشكل المستقيم ليس له تأثير تجاذبي ، فإن حلقات الأوتار تتصرف كما لو كانت جسما ماديا عاديا . وإن الحلقات هذه هي ما يلجأ إليه الفلكيون بحثا عن « بذرة » تكون المجرات وغيرها من تجمعات المادة الهائلة . ولكن هل يتوقع المرء كثيرا من مثل هذه الحلقات في الكون المبكر ؟ طبقا للتحليل الرياضي، فإن عددا غفيرا من هذه الحلقات قد تكون ، هائما بسرعة قريبة من سرعة الضوء .

ومن الطبيعي أن يحدث نتيجة لذلك تشابك بين الأوتار حين تتلاقى . فحين يلتقي وتران فإن المجالين بداخل هذين الأنبوبين سوف يتفاعلا بحيث تتحد الأطراف لهما بشكل أو بآخر ( الشكل ٣٠ ) . ويعني هذا تكرار التوصيل بين الأوتار ، وخاصة حين تلتوى الأوتار على نفسها . ومن المحتمل أنه خلال الثانية الأولى كان الكون ممتلئا بالفعل من مثل هذه الحلقات .



الشكل (٣٠) : حينما تتقابل الأوتار الكونية ، تميل للاندماج كما هو مبين .

وعلى مر الدهور ، تمدد الكون تمدا هائلا ، وتباعدت الحلقات ، كما تباطأت سرعتها حتى وصلت تقريبا للسكون بالنسبة للمادة المحيطة بها . ومن وضعها الهادى ، بدأت فى جميع المادة لتكوين المجرات . والكثير من الكونيين مقتنعون بأن الأوتار الكونية قد لعبت دورا رئيسيا فى هيكل الكون على نطاق واسع ، وأن منها ما لا يزال موجودا الى وقتنا هذا . واذا كان هذا صحيحا ، فكيف نستشعرها ؟ من الاحتمالات ما ذكرناه سالفا ، تأثير العدسة . ولكن أين نوجه ابصارنا ؟

بداية يجب أن ينصب بحثنا على قلب المجرات ، كمجرتنا درب التبانة . ولكن ليس الكثير من الحلقات الكونية سيكون باقيا . ويعتمد مصير الوتر على ديناميكيته . فالشد فى الوتر سيحاول أن يكمله على نفسه ، ولكن يعارض ذلك الحركة السريعة التى يمكن لأجزاء الوتر أن تكون عليها . تنبأ الماثلات الحاسوبية بأن الوتر سوف يتلوى بعنف ، الكون المحيط ، هذه التموجات تسمى ( موجات الجاذبية ) .

### تموجات فى الفضاء

يتسبب جرم كبير كالشمس فى التواء الزمكان بالقرب منه . وحين تتحرك الشمس فان التواء الفضاء والزمن يتحركان معها . وفى عمق الكون ، تحمل أجرام أخرى ، منها ما هو أكثر جرما من الشمس ، التواءاتها معها . وحين يتلاقى جرمان ، فان الالتواءات تتصادم ، مطلقة تموجات فى الكون المحيط ، هذه التموجات تسمى ( موجات الجاذبية ) .

وكان آينشتين أول من تنبأ بموجات الجاذبية فى النسبية العامة ، عام ١٩١٦ ، ولكن عقودا مرت دون امكانية استشعارها رغم الجهود الاستكشافية . ومع ذلك فالفلكيون مقتنعون تماما بوجودها ، وما علم الاحساس بها الا للضعف المتناهى للجاذبية .

وليس تصادم الأجرام هو فقط ما ينتج موجات الجاذبية . فمن الوجهة النظرية يشع أى جرم متحرك مثل هذه الموجات . ومن المصادر

الاخرى انفجار أو انسحاق الأجرام ، ودوران أزواج النجوم حول بعضها البعض ، واهتزاز الأوتار الفلكية • والاشعاع الذى يبت فى مثل هذه العمليات ينتقل بسرعة الضوء ، ويمكن أن يصل لنا من حيث المبدأ من أطراف الكون المرئى •

كيف اذن يمكن استشعار موجات الجاذبية ؟ موجات الراديو يحس بها عن طريق ما تفعله بالشحنات الكهربائية من اهتزازات ( الالكترونات الموجودة فى مادة الهوائى ) • ولكن لما كانت الجاذبية تعمل على أى شىء ، وليس فقط الشحنات الكهربائية ، فان جهاز الاستشعار بها يمكن من حيث المبدأ أن يصنع من أى شىء على الإطلاق • ولكن للأسف بسبب الضعف المتناهى للجاذبية ، فان المواد منفذة تماما لموجاتها ، ويتطلب الأمر أجهزة غير مسبقة فى درجة دقتها اذا كان لنا أن نحس بها •

ويجرى حالياً تصميم وبناء مثل هذه الأجهزة • وقد كان الجهاز الأول ، والذى صممه جوزيف ويبر Joseph Weber من جامعة ماريلاند ١٩٦٠ ، مكوناً من أسطوانة من الألومونيوم بقطر ١٥ متر معلقة بسلك رفيع فى غرفة مفرغة • وألصقت بالأسطوانة كشافات حساسة لاستشعار أية حركة طفيفة تسببها موجات الجاذبية • وتبلغ درجة الحساسية قدراً لا يتصوره عقل ، قريباً من قياس المسافة بين الأرض والشمس لأقرب مسافة تساوى قطر الذرة • ناهيك عن الشوشرات الحادثة من أية اهتزازات دخيلة ، كالاhtزازات الأرضية ، أو حتى ما يتسبب عن الاشعاع الحرارى : كل هذه الاهتزازات يجب اخمادها •

وقد طفر العالم الفيزيائى حين أعلن ويبر عام ١٩٧٠ عن تسجيل اهتزازات متكررة عزائها لموجات الجاذبية • وتدافعت الجهود لانتاج كشافات مشابهة ، دون تحقيق أى نجاح • وما زالت المحاولات تجرى للتبريد الى قرابة الصفر المطلق لخماد الشوشرة الحرارية ، وتحسين الحساسية بطرق أخرى ، ولكن لم يبد فى الأفق الآن تحقيق تسجيل مقنع لتلك الموجات • وقد استخلص من تجارب عديدة أن الذبذبات التى أعلن عنها ويبر منذ عشرين عاماً لم تكن بسببها •

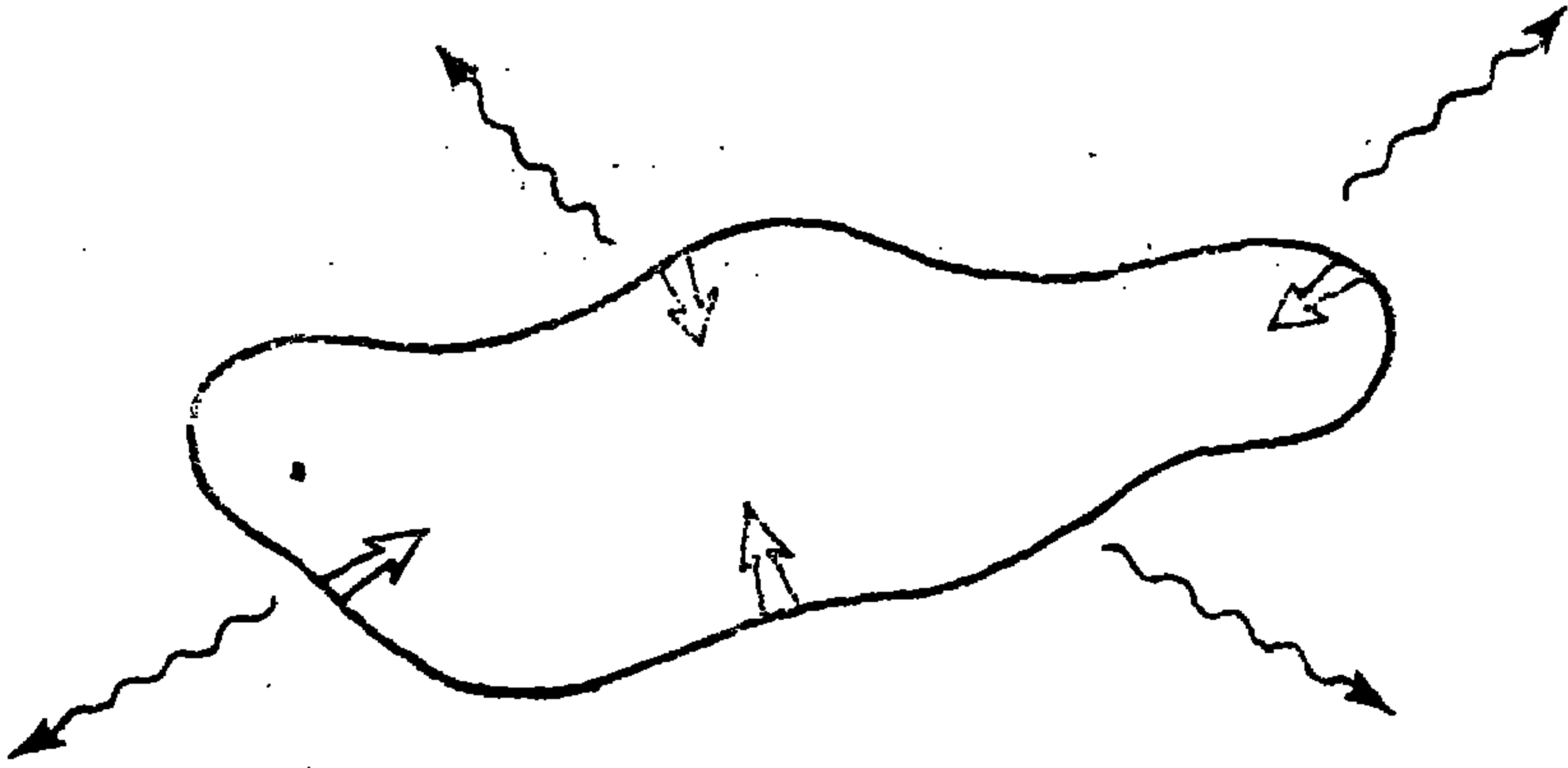
وقى أثناء ذلك لجات فرق من الباحثين لتصميمات أخرى . ومن التصميمات الواجهة تصميم يعتمد على قياس شعاع من الليزر المنعكس من عدة مرايا معلقة بدقة بالغة فى غرفة مفرغة ، ويتصور أن أية اهتزازات دقيقة يمكن الاحساس بها من مقارنة اتجاهات أشعة الليزر . ورغم التطور المتواصل فى هذه الأجهزة فائقة الحساسية ، فانه لا يتوقع قبل فترة الاعلان عن كشف حاسم لتلك الموجات التى طال انتظارها . ولكن ثقة المختبرين بأن مجهوداتهم لن تذهب هباء قد عززت بما توصل اليه فريق من الباحثين فى جامعة ماساشوسيتس عن تأثير موجات الجاذبية ، فباستخدام تلسكوب لاسلكى ضخيم فى اريكيبو فى بورتوريكو ، كان الباحثون لعدة سنوات يدرسون نظاما فلكيا يسمى PSR 1913 + 16 . هذا النظام عبارة عن نظام نجمى ثنائى ، أى نجمين يدوران حول بعضهما البعض . ولكنه نظام ثنائى له تميزه ، فكل النجمين قد انكمشا الى حجم مدينة ، رغم أن كتلة كل منهما لا تقل عن كتلة الشمس . وعلى ذلك فقد ارتفعت كثافة المادة فيهما الى قيمة هائلة ، فملء ملعقة من مادة يصل وزنها الى بليون طن ! فى مثل هذا الانضغاط تتحطم حتى الذرات ، فيكون النجم مكونا من النيوترونات بصفة أساسية .

ويعتقد أن النجوم النيوترونية تتكون خلال انفجارات المستعرات العظمى ( السوبرنوفات supernova ) ، حين يتهاوى نجم ذو كتلة هائلة على نفسه تحت تأثير ثقله . وفى بدء تكونها يعتقد انها تكون على سرعة دوران رهيبية ، عدة مئات من الدورات فى الثانية الواحدة . وأغلب هذه النجوم لها مجال مغناطيسى ، وحين يتهاوى النجم ينكمش المجال فتزداد شدته ، فالنجم النيوترونى التقليدى يكون مجاله أشد من مجال الأرض بترليون مرة . وحين يدور النجم يدور معه مجاله المغناطيسى ، فيتحول بذلك الى مولد كهربى رهيب ، يقتنص الجسيمات المشحونة التى بجواره ، كالالكترونات ، فتدور معه بما يقارب سرعة الضوء . وبدوران النجم تدور معه الاشعاعات مثل ضوء الفئار . ويظهر التأثير من الأرض على هيئة نبضات قوية من الاشعاعات .

وقد كان أول اكتشاف لهذه النبضات الراديوية عام ١٩٦٠ .  
والكثير منها معروف اليوم ، وتعرف باسم « النابضات » ، أو البلسارات  
« pulsars » ولكن النظام المذكور هو نوع خاص منها ، ومن ثم تسمى  
« النبضات الثنائية » .

ويقدم هذا النظام مثالا نادرا لرؤية موجات الجاذبية تمارس  
نشاطها . فالزمن الدوري للنظام ، أى الزمن الذى يستغرقه نجم للدوران  
حول رفيقه ، هو ثمانى ساعات لا غير ، بمعنى أن النجمين ينحركان بسرعة  
مهولة فى مجال تجاذبى شديد . وعلى ذلك يكون كل نجم مصدرا لأنبعاث  
موجات الجاذبية ، والتي تقوم اثناء اشعاعها باستنفاد طاقة النظام .  
ونتيجة لذلك يتضاءل المدار تدريجيا ، ويتلوب النجمان فى اتجاه  
بعضهما البعض ، الى أن يتصادما . هذا التقارب يتمثل على الأرض كتغير  
فى سرعة النبضات القادمة من النظام ، وحين أحس العلماء بذلك انتابتهم  
اثارة طاغية ، فقد تحقق أخيرا تنبؤ آينشتين بأن نظاما كهذا يجب أن  
يشع موجات الجاذبية ، قبل أن يعرف انسان بوجود النجوم النيوترونية .  
وقد بينت القياسات أن تضاؤل المدار يتوافق تماما مع حسابات النسبية  
العامة فى ذلك . وقد بدا أنه اذا كان لم يحن بعد استكشاف موجات  
الجاذبية على الأرض ، فاننا على الأقل نشاهد أثرها (٢) .

وبالضبط كما تشع الأجرام الدوارة موجات الجاذبية ، فكذا تفعل  
الأوتار الفلكية (الشكل ٣١) . وفى حالة حلقة دوارة من الأوتار الفلكية ،  
فانه سيكون لها تأثيران ، أحدهما درامى لحد ما . فالبث للموجات لن  
يكون متماثلا من محيط الحلقة ، بل له نزوع أشد لاتجاهات معينة ،  
ويعتمد ذلك على شكل الحلقة . ونتيجة لذلك تتعرض الحلقة لدفع فى  
الاتجاه الأشد ، مما يجعلها تنطلق كالصاروخ بسرعة قد تصل لعشر سرعة  
الضوء . وعلى ذلك فلو كانت تلك الحلقات هى بذور المجرات ، فلا بد أنها  
قد غادرتها من وقت طويل .



الشكل (٣١) : حلقة متمعة من وتر كوني هي مصدر وافر لموجات الجاذبية . ومع انتشار الموجات ، تستنفد طاقة الحلقة ، فتتكسر .

والأثر الثانى هو أن بث موجات الجاذبية يستنفد طاقة الحلقة ، فتزداد انكماشاً على نفسها ، وتنتهى فى نهاية الأمر الى التلاشى ، ربما على صورة ثقب أسود . ومعنى ذلك على أى من الاحتمالين ، أنه ليس من المحتمل أن نجد منها ما هو باق للآن .

والأثر التراكمى لموجات الجاذبية المشعة من آلاف من حلقات الأوتار الفلكية فى العصور السحيقة ، سيكون قد ملأ الفضاء بكم متلاطم من التموجات ، بالضبط كسطح بركة تعرضت لرياح شديدة ، بعض من هذه التموجات يمكن أن تكون لها أطوال ، أى مسافات بين القيم المتتالية ، تبلغ عدة سنوات ضوئية ، عاكسة حجم الحلقات آنذاك . ومن بين آثار أخرى ، ستعمل هذه التموجات على التأثير على سرعة نبضات النجوم النابضة ، ليس فى هذه المرة بسبب اشعاع النجوم ذاتها ، بل بسبب التموجات فى الفضاء بينها وبين الأرض .

وكلما ازدادت سرعة النجم النابض ، زادت حساسيته لهذا التأثير . وبعض النابضات تبث نبضات بسرعة عدة آلاف من النبضات فى الثانية الواحدة ، فتتوالى النبضات بمعدل يصل الى ثانية . هذه الـ « نابضات الى ثانية » هى الآن محل دراسة مستفيضة ، للبحث عن أى أثر لموجات جاذبية نتجت عن حلقات أوتار فلكية من العصور السحيقة .

## لقاء رهييب : وتر فلكى يقابل ثقباً أسود

لكون الوتر الفلكى ممنوعاً أن تفصم عراه ، فإن السؤال يثور حول ما يحدث لو قابل وتر فلكى ثقباً أسود . فإى شئ يدخل الثقب الأسود لا يمكن أن يخرج مرة أخرى ، بما فى ذلك جزء الوتر الفلكى ، ومن جهة أخرى ، فإن الثقب لا يمكنه أن يقضم الوتر دون أن يفصم عراه . والحل الأوحده هو أن يظل الوتر عالقا بالثقب . عندئذ يبدأ الثقب فى ابتلاع الوتر كزوج من عصوات الاسباجتى . وفى حالة الوتر المستقيم فلن يكون على الوتر علامات تدل على سرعة هذا الالتهام . وبالنسبة للمراقب فلن يرى أى شئ يحدث . وفى الواقع يظل الموقف ساكناً ، فالثقب لن يزداد حجماً بسبب ابتلاعه للوتر ، لنفس السبب الذى به لا يظهر للوتر قوة جاذبية ، ألا وهو الجاذبية المضادة التى تعادل جاذبيته . وبالتالي لن تزداد جاذبية الثقب مهما كان طول الوتر المبتلع .

أما فى الحالة الواقعية ، فاصطياد ثقب أسود لوتر فلكى هى عملية أكثر تعقيداً . فالوتر لن يكون مستقيماً بصورة مثالية . وقد بينت الممائلات الحاسوبية التى أجريت بواسطة ايان موس Ian Moss من جامعة نيو كاسل أن الوتر باقترابه من الثقب سيظهر له طرف مستدق يشير للثقب . هذا الطرف يتحول الى حلقة ، كحلقة وحيدة فى لولب ، قد تتبعها حلقة أخرى ، ثم يتبع ذلك الولب فلولب ، بحيث حين يصل الوتر للثقب لا يكون أشبه بعصوات الاسباجتى ، بل كطبق من الاسباجتى المختلط بلا نظام . فاذا ما كان الثقب دواراً ( كما هى الحالة الغالبة ) ، فإن هذا الخليط من الاسباجتى سيدور معه ، محدثاً مزيداً من تعقد الموقف .

ويتجاوز الاهتمام بلقاء الثقب الأسود لوتر فلكى هذه التصورات الفلكية ، ليمس أساس علم الفيزياء . فطبقاً لما بينه ستيفن هاوكنج ، فإن الثقب الأسود لا يمكن أن ينقص حجماً . وبقول أكثر دقة ، فسطح الثقب الأسود اما أن يزداد أو يظل ثابتاً . والاستثناء الوحيد لهذا المبدأ هو الثقوب السوداء المجهرية ، والتى تقوم العمليات الكمية بتحويل طاقتها التجاذبية الى جسيمات حقيقية ، مما يؤدى لتبخرها واختفائها فى انفجار عنيف للطاقة .

وقانون سطح الثقب هو قانون أساسى فى الفيزياء ، حيث انه يمكن من تطبيق قوانين الديناميكا الحرارية على الثقوب السوداء . فسطح الثقب

الأسود يعتبر مقياسا للانثروبيا ، وتقليل سطحه يقابل تقليل الانثروبيا ، مما يخرق قانونا من أهم القوانين الأساسية للفيزياء .

وللوهلة الأولى يبدو أن سطح الثقب الأسود سوف يقل ، بسبب عملية قطع السطح السابق شرحها ( راجع الشكل ٢٨ ) . وقد بذل كثير من العلماء جهدا للتوفيق بين ذلك وقانون عدم نقص الانثروبيا ، وذلك بتصور أن الوتر سيمد الثقب بطاقة تزيد من حجمه ، وبالتالي من سطحه ، بما يعادل النقص الحادث على الأقل .

وقبل أن نترك موضوع الأوتار الفلكية ، يجب أن نشير إلى أن تكونها يتضمن عمليات فيزيائية حدثت في حدود عصر التضخم . والسؤال الجوهرى هو هل قبل أو بعد ذلك . فلو كانت سابقة ، لأصابها التضخم هي أيضا ، ولتلاشت بعد التضخم ، كشأن كافة التغيرات قبله ، ولتضاءل الأمل إلى حد كبير فى أن نلاقى شيئا منها . ولهذا السبب ، فإن النظرية التضخمية والنظرية القائلة بالأوتار الكونية ينظر إليهما كبديلين . ولم يمنع هذا بطبيعة الحال بعضا من المنظرين من محاولة الجمع بينهما .

وكالكثير من الأفكار التى عرضنا لها فى هذا الفصل ، فإن هذه المحاولات من المنظرين فى كفاحهم لكسب قوتهم ، تطلب التعامل مع الفيزياء الكمية . وقد حاولنا إلى الآن تحاشي هذا الموضوع بالتفصيل ، حيث أن له شهرة فى التعقيد والصعوبة . كما أن بعض تنبؤاتها غاية فى الغرابة . ومع ذلك ، فلكى نواصل حديثنا ينبغى علينا الدخول شيئا ما فى هذه التفاصيل ، وهو موضوعنا فى الفصل المقبل .

## هوامش الفصل السادس

- (١) مستحيل من الوجهة العملية ، ذلك أنه يرسم مثلث على سطح الأرض وقياس مجموع زواياه ، يتبين لنا أن كانت منبسطة أو منحنية ، وهو ما يتصور نظريا مع الكون .
- (٢) كلمة تحذير : يطلق مصطلح : « موجات الجاذبية » أيضا على موجات السوائل ، كسطح المحيطات ، حين تتحرك تحت تأثير الجاذبية ، ويجب الانتهاء لعدم الخلط بين المصطلحين .



## الفصل السابع

### أعاجيب الكيم

فى كل مرة تنظر فيها الى ساعة مشعة ، فانت تشاهد احدى أعجب العمليات فى الطبيعة . فالتوهج الحادث ينتج عن صورة من النشاط الاشعاعى تعرف بانحلال ألفا  $\alpha$  decay ، ومنذ اكتشافه فى نهاية القرن التاسع عشر ، كان من الواضح أن انحلال ألفا هو أحد الظواهر العجيبة .

وفى نيوزيلندا كان ايرنست رذرفورد Ernst Rutherford من أوائل من أجروا تجارب على « اشعاع » ألفا ، كما كان يسمى ، وأعطاه هذا الاسم عام ١٨٩٨ . وبحلول ١٩٠٧ ، كان رذرفورد قد استنتج أن جسيمات ألفا هى فى الواقع ذرة الهيليوم وقد نزعنا عنها الإلكترونين المكونين لغلافها . هذه الذرة المنزوع عنها الكتروناتها سميت فيما بعد بالنواة ، ونحن نعلم الآن أن جسيمات ألفا مكونة من بروتونين ونيوترونين ، ولكن تركيب الذرة لم يعرف آنذاك الا بعد عدة أعوام ، حين استخدم رذرفورد جسيمات ألفا كمقذوفات .

فى هذه التجارب سلط رذرفورد وابلا من جسيمات ألفا على غلالات رقيقة من الذهب . وقد اخترقت الغالبية من هذه الجسيمات الغلالة مثل « طلقة نارية تخترق قطعة من القماش » على حد تشبيهه ، بينما انحرف عدد قليل للغاية عن مساره ، وبزاوية كبيرة ، كما لو كانت الطلقة قد ارتطمت بشيء صلب . وعلل رذرفورد ذلك بأن كتلة الذرة مركزة فى نواة لها ، واقترح أن تكون الذرة عبارة عن الكترونات خفيفة للغاية تطوف حول تلك النواة على شكل سحابة مخلخلة . وتشابهت الذرة بذلك من عدة نواح مع النظام الشمسى ، والذي فيه تطوف أجرام خفيفة نسبيا حول جرم مركز به أكثر كتلة النظام ، ألا وهو الشمس .

وأطلق على نموذج رذرفورد لذلك « النموذج الكوكبي » ، وبدلاً من التجاذبية ، فإن جسيمات الذرة مترابطة بفعل القوى الكهربائية ، فكل الكترون يحمل شحنة سالبة مقدارها الوحدة ، بينما تحمل النواة الشحنة الموجبة الكاملة ، والتي تساوى مجموع ما تحمله الإلكترونات . فإذا كان هذا التصور صحيحاً ، فإن جسيمات ألفا التي تصطدم بالنواة هي فقط التي تعاني من الانحراف المذكور .

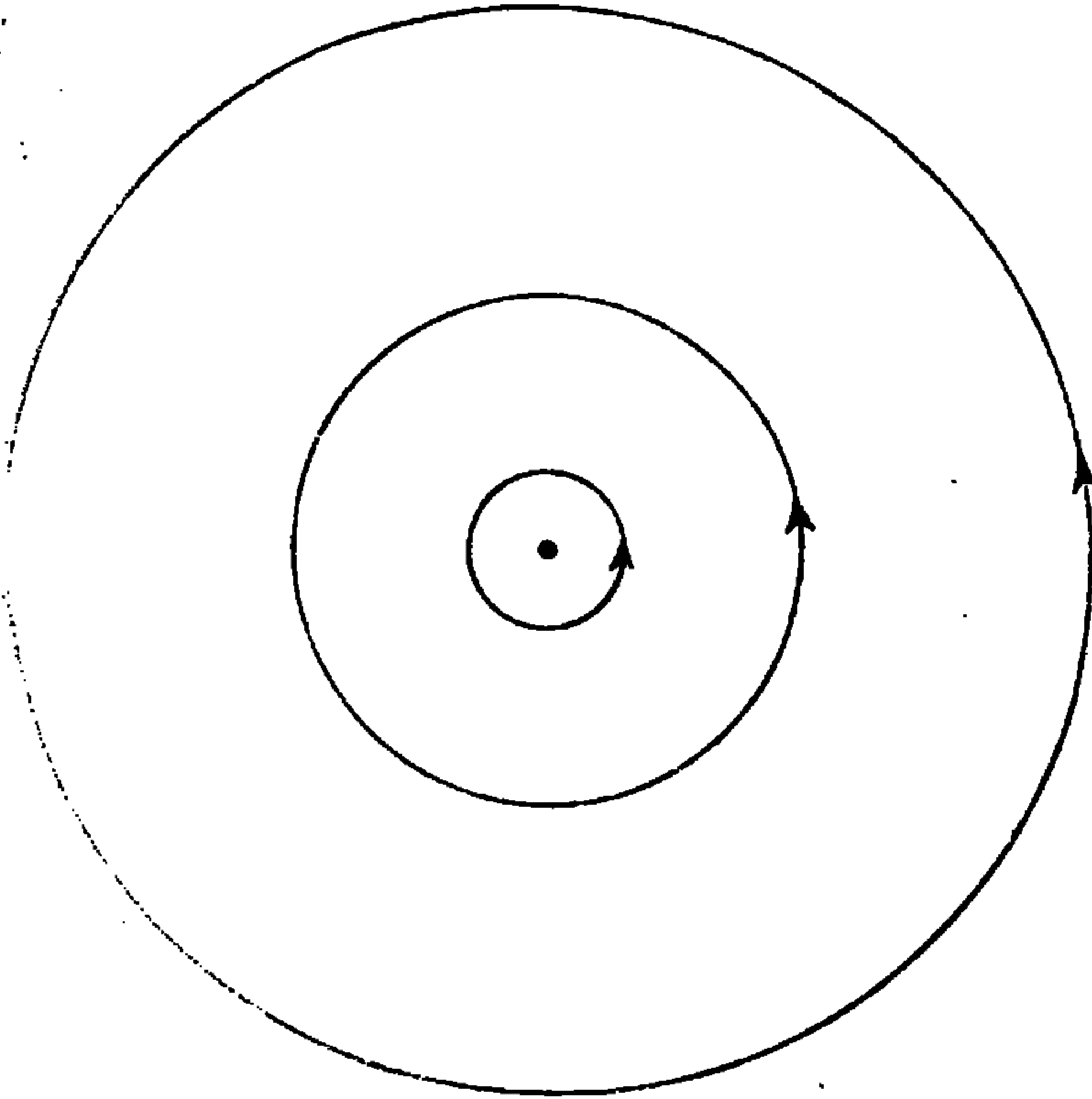
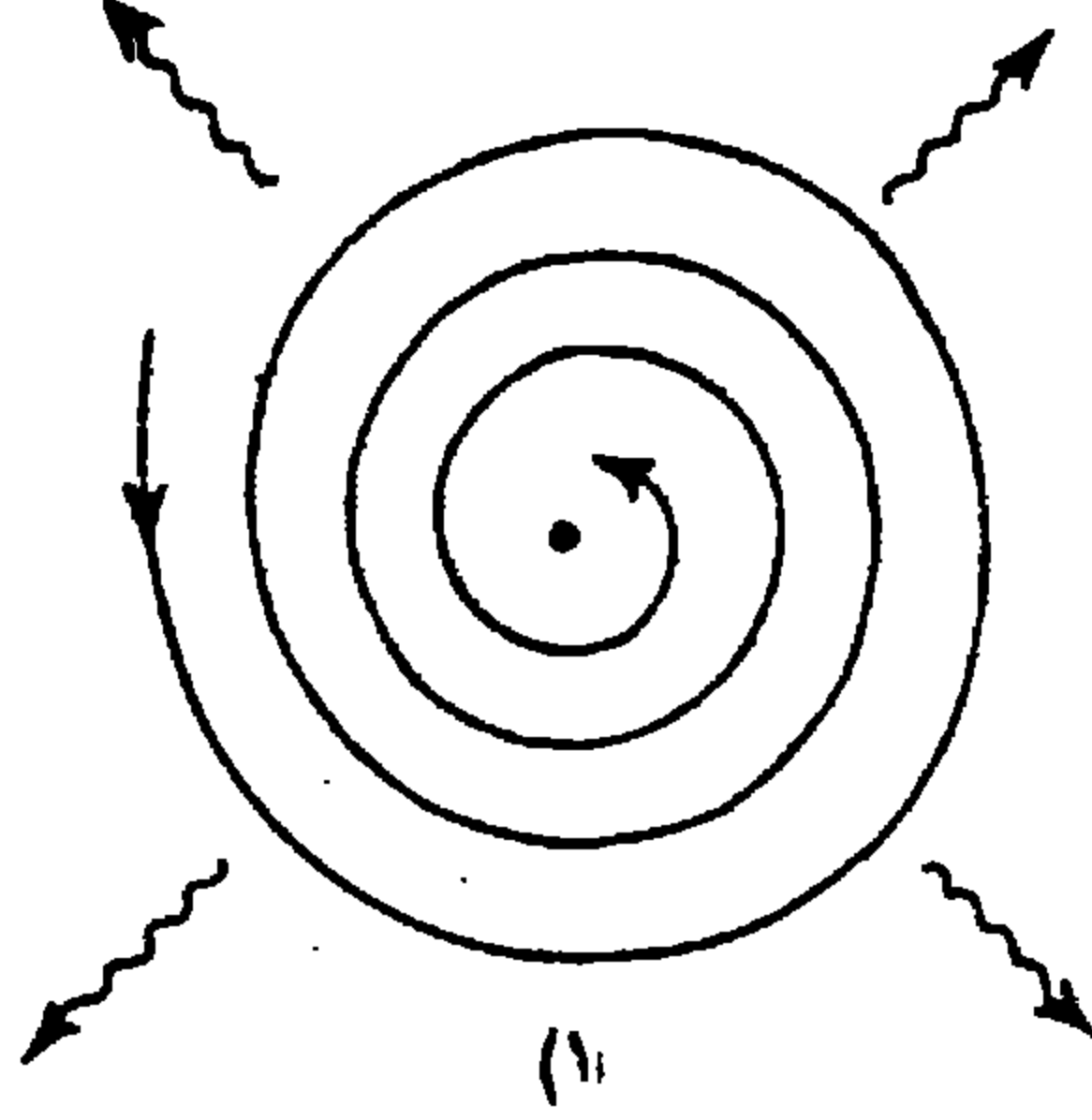
ولكن رذرفورد ووجه بشيء مستغرب ، فإذا كانت جسيمات ألفا هي شظايا انبثقت من نواة يورانيوم مثلاً ، فلا بد من وجود آلية تدفعها لمغادرة النواة الأم ، وبمجرد أن تغادر النواة موجبة الشحنة ، فإنها ، وهي أيضاً موجبة الشحنة ، ستتنافر معها . فكيف ترابطت الشحنات الموجبة داخل النواة ، ولماذا لا تستطيع جسيمات ألفا الدخول مرة أخرى للنواة ، طالما أنها كانت موجودة بها ، واستطاعت الخروج منها ؟

وفي العشرينيات قام الفيزيائيون بتطوير الفكرة بأن الشحنات الموجبة في الذرة مترابطة بقوة أطلق عليها « القوة النووية القوية strong nuclear force » ، تتغلب ، عندما تعمل على مسافات ضئيلة ، على قوة التنافر الكهربائية ، والتي سميت « القوة النووية الضعيفة weak nuclear force » . هاتان القوتان : التي تعمل على المسافات الكبيرة ، ولكنها الأضعف ، مع القوة ، تخلقان شيئاً أشبه بالحاجز غير المرئي حول النواة . فجسيمات ألفا بداخل النواة تكون محجوزة بداخلها بواسطة الحاجز ، بينما لا تستطيع جسيمات منها في الخارج اختراق الحاجز . والمسألة أشبه بكرة في أخدود لبركان خامد ، يمكن لها أن تقفز منه للخارج إذا أوتيت طاقة كافية ، وما أن تفعل حتى تندرج بعيداً ، ولكن كرة بالوادي يتحتم عليها أن تصعد الجبل قبل أن تسقط في الأخدود . ولكن هذا لم يحل لغز عودة الجسيمات المنبعثة من النواة من العودة لها ثانياً . ولم تفعل الحسابات المتعلقة بهذا الحاجز المفترض إلا تعميق الغرابة ، فقد اتضح أن الجسيمات المشعة ليست لديها الطاقة التي تمكنها من عبوره ، كما بينت التجارب أن جسيمات بضعف تلك الطاقة غير قادرة على عبوره من الخارج . لقد بدا الأمر كما لو كانت جسيمات ألفا قد حفرّت بطريقة ما « نفقا » في الحاجز .

نعم ، ان شيئاً غريباً يجري ! . هذا الشيء الغريب – التأثير النفقي tunnel effect – قد قام بشرحه الفيزيقي الروسي المولد جورج جاموف George Gamow عام ١٩٢٨ ، معتمداً في ذلك على نظرية ميكانيكا الكم الحديثة ، والتي قامت أساساً لتفسير الغرائب المتعلقة بالعالم الذري .

## التفق الكمي

حين وضع رذرفورد تصوره « الكوكبي » عن النواة ، لم يكن يعلم كيف تستقر الالكترونات في مداراتها حول الأنوية . فهناك أمر غريب مرتبط باستقرار هذا النظام ، حيث ان قوانين الميكانيكا الكلاسيكية تنص على



الشكل ( ٣٢ - ١ ) : طبقا للفيزياء التقليدية ، يجب على الالكترون الدوار حول النواة ان يشع موجات كهرومغناطيسية على الدوام ، فتقل طاقته ليتخذ مسارا لولبيا فيسقط في النواة .

( ب ) اقترح بوهر ان الالكترون مقيد في مسارات محددة ( مقادية كمية ) ، ويمكن للالكترون ان يقفز من مسار لآخر عند امتصاص او بث موجات كهرومغناطيسية بالقدر اللازم من الطاقة .

أنه يجب على الإلكترون في حالة دورانه أن يصدر اشعاعات كهرومغناطيسية ، مما يفقده طاقته ، فيدور في مسار حلزوني تجاه النواة الى أن يسقط فيها . بمعنى آخر ، فانه طبقا للفيزيكا الكلاسيكية فان مآل الذرة للانهار . أما ما يحدث بالفعل فأمر مخالف تماما ، فالإلكترونات تحتل مستويات محددة من الطاقة ، تقابل مسارات على مسافات محددة من النواة ( الشكل ٣٢ ) . ويمكن بالطبع أن تشع موجات كهرومغناطيسية من الذرة ، ولكن ذلك يحدث في دفعات فجائية ، وحين يتم ذلك يطفئ الإلكترون من مدار لآخر أدنى منه .

وكان وجود مستويات معينة للطاقة لغزا محيرا . من أين أتت ؟ وما الذي يبقى الإلكترونات بها ؟ وفي ١٩١٢ تولى هذه القضية نيلز بوهر بعد زيارته لرذرفورد ، الذي كان يعمل وقتها في جامعة مانشستر . وببصيرة نافذة وضع بوهر صيغة رياضية تعطي بدقة بالغة مستويات الطاقة لأبسط الذرات ، الهيدروجين ، وكم الطاقة الممتصة للإلكترون أو المنبعثة منه عند التنقل بينها علوا أو انخفاضا . ولاقت الصياغة ترحيبا حارا ، ولكن لم يكن أحد يعلم لماذا تكون هذه المعادلة على هذه الصورة بالذات .

والخصيصة المميزة لمعادلة بوهر هي وجود ثابت بلانك ، والذي قدمه في مطلع القرن الفيزيائي الألماني ماكس بلانك لكي يفسر طبيعة الاشعاع الحراري . كما استخدم ثابت بلانك أيضا بواسطة أينشتين عام ١٩٠٥ لشرح الظاهرة الكهروضوئية ، وهي ظاهرة سريان الكهرباء في بعض المواد عند سقوط الضوء عليها . وقد بينت أعمال بلانك وأينشتين أن الحرارة والضوء ( وكافة صور الاشعاع الكهرومغناطيسي ) لا يمكن وصفها ببساطة عن طريق صورتها الموجية ، ولكنها يمكن ، في بعض المواقف ، أن تتصرف كسيال من جسيمات أطلق عليها اسم « الفوتونات photons » . وقد حدد ثابت بلانك قيمة الطاقة التي يحملها كل فوتون ذي طول موجي معين . فالفوتون أشبه بحزمة من الطاقة ، سميت « الكم » ( الجمع : كمات ، أو الكوانتا ) quanta . وبيان احتياجه لثابت بلانك ، أقام بوهر رابطة بين كمات الاشعاع الحراري والتركيب الذري . فمستويات الطاقة المسموح للإلكترونات أن تحتلها تعتمد ، مثل طاقة الفوتونات ، على ثابت بلانك .

ولكن ظل اللغز حول سبب اتخاذ مستويات طاقة الإلكترونات هذه الصفة الكمية . وكانت بداية الحل على يد طالب فرنسي يدعى لويس دي بروجلي ( Louis de Broglie ) يسمى في كثير من الكتابات دي بروجلي

عام ١٩٢٤ ، والذي وافته فكرة جريئة : لو كانت موجات الضوء تتصرف أحيانا كالجسيمات ، فربما كان الإلكترون ، والذي ينظر اليه عادة كجسيم من جسيمات المادة ، يتصرف أحيانا كموجات ؟ وتطورا لفكرته صاغ دى برولى معادلة بسيطة بين فيها علاقة الطول الموجى لمثل هذه الجسيمات بكمية حركتها . وكمية الحركة هى حاصل ضرب الكتلة فى السرعة . وبين دى برولى أن علاقة كمية الحركة بالطول الموجى يتضمن بدوره ، ثابت بلانك .

وعلى الرغم من أن دى برولى لم يضع نظرية متكاملة عن الموجات المادية ( اذ يرجع الفضل فى ذلك للفيزيائى النمساوى شرويدنجر ) ، فان فكرته قدمت التصور الملائم لشغل الإلكترون مستويات طاقة محددة حول النواة . فاذا ما تصرف بصورة ما الإلكترون كموجة ، فانه لكى " تتفق " الموجة مع المدار فان قطر المدار يجب أن يكون عددا صحيحا من الطول الموجى ، بحيث انه حين تلتف الموجة حول المدار تقفل تماما . وعلى ذلك فلن يتاح ذلك إلا للمدارات محددة ، والتي تمثل مستويات الطاقة المسموح بها .

وقد قدم شرويدنجر تفاصيل هذا التوافق فى معادلة تصف تصرف الإلكترون بالقرب من النواة . وبحل معادلة شرويدنجر ، ظهرت مرة أخرى معادلة بوهر الخاصة بمستويات الطاقة لذرة الهيدروجين . وكان هذا هو النصر المؤزر للفيزياء . وفى السنوات التالية ، طبقت النظرية الجديدة ، المسماة بالميكانيكا الكمية ، بنجاح على عدة مسائل تتضمن الإلكترونات . وتمثل معادلة شرويدنجر الآن أساسا للفيزياء المتعلقة بالذرات والجزيئات والجوامد ، والكيمياء الفيزيائية . ولكن هذا النجاح الساحق لم يكن بلا ثمن . فكما كان شرويدنجر نفسه واعيا ، كان ذلك على حساب التخلي عن قوانين نيوتن التى حازت التبجيل على مدى قرون ، وابدأها بالمعادلة الجديدة لموجات المادة .

واذا كان الإلكترون يتصرف كموجات ، فمن المعقول أن نتوقع أن تتصرف بنفس الطريقة كافة الجسيمات الأخرى ، وهو ما أكدته التجارب بالفعل . وما أن استقرت الصفة الموجية للجسيمات دون الذرية ، حتى أصبح من الواضح أن أشياء غريبة يمكن أن تحدث على مستوى الذرات والأنوية . افترض مثلا أن شعاعا من الإلكترونات قابل قوة مجال تمثل حاجزا كهربيا ، فاذا كانت قوة تنافر فمن الطبيعى أن نتوقع أن تنحرف الإلكترونات بعيدا . واذا كانت القوة تجاذبا ، نتوقع انحرافها تجاه القوة . اما بالنظر للصفة الموجية ، فهذا التوقع الساذج معرض للاستثناء ، فكما

أن لوح الزجاج يعكس بعضا من الأشعة ويمرر البعض الآخر ( وهو ما يسبب صورة شاحبة لك على اللوح ) ، فإن المجال المتجاذب سيعكس دائما قدرا من الالكترونات . ومعنى ذلك أن بعض الالكترونات ، قلة من الكثرة الغالبة ، سوف ترتد عن منطقة الجذب ، بالضبط كما لو أن كرة الجولف اندفعت تجاه الحفرة ، وعند حافتها غيرت رأيها ، فارتدت متباعدة عنها .

وبتقبل هذا التصرف الشاذ ، ليس من الصعب تبرير كيفية حدوث ظاهرة النفق المذكورة سابقا لجسيمات ألفا . فكما أن الالكترون له خواص موجية ، فنفس الشيء لتلك الجسيمات . وعلينا أن نتصور هذه الجسيمات محتواة داخل النواة بقوة الحجز ، كما تحجز موجات الضوء داخل صندوق مبطن بالمرايا .

وحين يعكس الضوء بمرآة ، فإن جزءا منه يخترق مادتها ، فيمتص داخله . أما إذا كانت المرآة مصنوعة من مادة رقيقة السمك ، فإن قدرا من الموجات يمكن أن يخترقها ويعبر للجانب الخلفي منها ، منهك القوة . وما أن يعبر المرآة حتى يستعيد خواصه كضوء طبيعي . ونفس هذه الظاهرة النفقية ظاهرة مألوفة مع كافة الموجات ، فهي تحدث مثلا مع الموجات الصوتية . وفي حالة جسيمات ألفا فهي تسبب « تسربا » ضئيلا من موجاتها عبر حاجز النواة الى الخارج . وكما سنرى ، يتضمن ذلك أن هناك احتمالا ضئيلا ، ولكنه ليس منعدما ، لجسيمات ألفا أن تشق نفقا عبر الحاجز وتفر من النواة ، فإذا ما أعطيت وقتا كافيا ، فإن هذا سيحدث وقتا ما .

ولكن ماذا عن لغز عدم عودتها مرة أخرى للنواة ؟ يكمن الرد في عبارة : « إذا ما أعطيت وقتا كافيا » . فدرجة اختراق جسيمات ألفا للنواة ضئيلة للغاية ، وقد يستغرق الأمر بلايين السنين لحدوث حالة من ذلك . وأما ملاحظتنا لذلك بالنسبة لليورانيوم فلأن جزءا ضئيلا منه مكتظ بالأنوية ( لكونه من العناصر الثقيلة - المترجم ) ، تتصارع فيها جسيمات ألفا من أجل الفرار . والطريقة التي تعمل بها الاحتمالات هي أنه إذا كان الاحتمال هو بليون الى واحد ، فإن الأمر يستغرق لجسيم واحد بليون سنة ، وسنة واحدة لجسيم من بليون جسيم . فإذا راقبت ألف بليون من أنوية اليورانيوم لمدة سنة ، فإن لك أن تتوقع ألف حالة من اشعاع ألفا خلالها . وهكذا . فإذا ما أردنا رؤية العملية العكسية فاما أن نمطر النواة ببلايين من تلك الجسيمات ثم نأمل ملاحظة حالة اختراق واحدة ، أو نقيد جسيما خارجها وننتظر بليون سنة .

## عالم من عدم التأكد

وعلى غرابة التأثير النفقي ، فإن الأغرب منه أن نعلم أن له تطبيقات عملية ، مثلاً فيما يسمى « الثنائي النفقي tunnel diode » ولعل أهم تطبيق للخاصية الموجية للالكترونات هو ما يعرف باسم « التوصيل الفائق superconductivity » . فحين يمر التيار الكهربى فى موصل ، فإن سيل الالكترونات يواجه بعقبات عشوائية تسبب ما يعرف بالمقاومة الكهربائية . ولكن بعض المواد لها خاصية فقد هذه المقاومة تماماً عند درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق ، ومن ثم فإن التيار يمكن أن يمر بها للأبد ، دون أى فقد فى طاقته .

والخصيصة الرئيسية فى موضوع التوصيل الفائق هى الخاصية الموجية للالكترونات . فالالكترون له مجاله الكهرومغناطيسى الخاص به ، والذي يتسبب فى تشويه الهيكل الشبكي lattice للمادة المتضمن بها قليلاً ، وتشويه الهيكل الشبكي لجسيمات مشحونة يتسبب بدوره فى تشويه مجالها الكهرومغناطيسى ، فيؤثر بذلك على الالكترونات الأخرى . ونتيجة لذلك ، يوجد تفاعل ضعيف بين الالكترونات الحاملة للتيار والهيكل الشبكي للبلورة . وعند درجات الحرارة العادية تطفى الاهتزازات الحادثة فى البلورة نتيجة الحرارة على هذا التأثير الواهن ، ولكن عند درجات الحرارة المنخفضة تخمد تلك الاهتزازات ، ويظهر التبادل بين الالكترونات على المسرح . هذا التبادل يمكن الالكترونات من أن تتزاوج ، ويتسبب هذا التزاوج فى تغيير جذرى فى خصائصها . أحد هذه التأثيرات هو السماح لأعداد كبيرة من أزواج الالكترونات بالتوافق الموجى ، منتجة موجات فائقة من الالكترونات . هذه الموجة الفائقة ، تحت الظروف الملائمة ، يمكن أن تنتقل حرة عبر حلقة من موصل فائق . فى موجة مستقرة فى مستوى من الطاقة معين لا تتزحزح عنه (١) ، بالضبط كما تحتل الالكترونات مستويات معينة من الطاقة حول النواة . ويمثل الموصل الفائق فى ذلك ، من وجهة نظر معينة ، نواة ذرة ، ولكن على المستوى المرنى . وكأغلب التأثيرات الكمية ، فقد استغلت هذه الظاهرة عملياً ، بالأخص فى عمل مغناطيسات قوية لمسح الأجسام البشرية وغير ذلك من أجهزة .

وقد تم التعبير عن الخواص الموجية للالكترونات بأكثر من طريقة عملية . فالميكروسكوب الالكترونى مثلاً ، يستخدم الالكترونات بدلاً من الضوء ، ومن ثم يمكن أن يرى تفاصيل أدق . وتستخدم الموجات الالكترونية والنيوترونية فى فحص المعادن بحثاً عن أية عيوب بتكوينها المعدنى .

كما يسلط شعاع من موجات النيوترونات على هدف ما ، بحيث يمكن ضبط ترددها بدقة لتتوافق مع تردد أنوية الهدف ، وبهذه الحيلة يمكن مثلا قياس درجة حرارة ريشة توربين نفث بينما هو يعمل .

وأعجب ما فى ظاهرة الازدواجية بين الخواص الجسيمية والموجية أنها ليست مقصورة على العالم الذرى ودون الذرى . فالأجسام المرئية من بشر وكواكب لها ، من حيث المبدأ ، موجاتها الكمية الخاصة بها ، تحددها معادلة دى برولى الموجية . والسبب فى أننا لا نحس بها ( كأن يتعرض شخص مثلا لتأثير النفق فى كرسى يجلس عليه ، ليجد نفسه واقعا على الأرض ) موجود فى صياغة المعادلة نفسها ، فالطول الموجى للموجات يتضائل مع كمية الحركة ، ومعنى ذلك أنه كلما زادت الكتلة للجسم قل الطول الموجى . وعلى ذلك فطول الموجة للإلكترون فى جهاز منزلى يبلغ جزءا من مليون من السنتيمتر ، بينما يبلغ لبكتيريا طولا أقل من قطر ذرة ، ولكرة ١٠ - ٣٢ من السنتيمتر . كل جسم من هذه الأجسام يمكن أن يشق نفقا فى حاجز ذى سمك متناسب مع طول موجته ، مما يجعل فكرة استغلال ذلك للأجسام المرئية ضربا من الفكاهة .

على أن الفكرة فى حد ذاتها ، من وجود موجات مادية حتى على المستوى المرنى ، مهما كان قصر طولها ، تثير جدلا خطيرا انخرط فيه العلماء لعدة عقود . ويرجع ذلك للسؤال المبدئى ، ما كنه الموجات الكمية بالضبط ؟

ذلك أنه من الصعب تصور شيء فى الطبيعة له خواص مادية وخواص موجية فى نفس الوقت . وقد كان اكتشاف ازدواجية طبيعة الضوء والالكترونات مبعث حيرة بالغة فى البداية . وحين بدأ العلماء يتحدثون عن ازدواجية الجسيم - الموجة لم يقصدوا أن الشيء له الخاصيتان معا ، بل انه يمكن أن يظهر هذه الخاصية أو تلك ، بحسب الظروف .

وقد مهد بوهر فكرة ازدواجية الجسيم - الموجة لمبدأ عرف باسم « التكاملية complementarity » ، ويقصد به أن الظواهر التى تبدو متعارضة فى الطبيعة هى فى الواقع متكاملة . وعلى ذلك فيمكن النظر للخاصيتين الموجية والجسيمية للإلكترون على أنهما متكاملتان ، كوجهى العملة . فالإلكترون يمكنه أن يتصرف كجسيم ، أو كموجة ، ولكن ليس أبدا بالصورتين ، كما أنه لا يمكنك الحصول على وجهى العملة معا .

ومن المهم للغاية مقاومة اغراء النظر لموجة الإلكترون كاهتزاز فى وسط مادي ، كالموجات الصوتية مثلا . والتفسير الصحيح ، وهو الذى

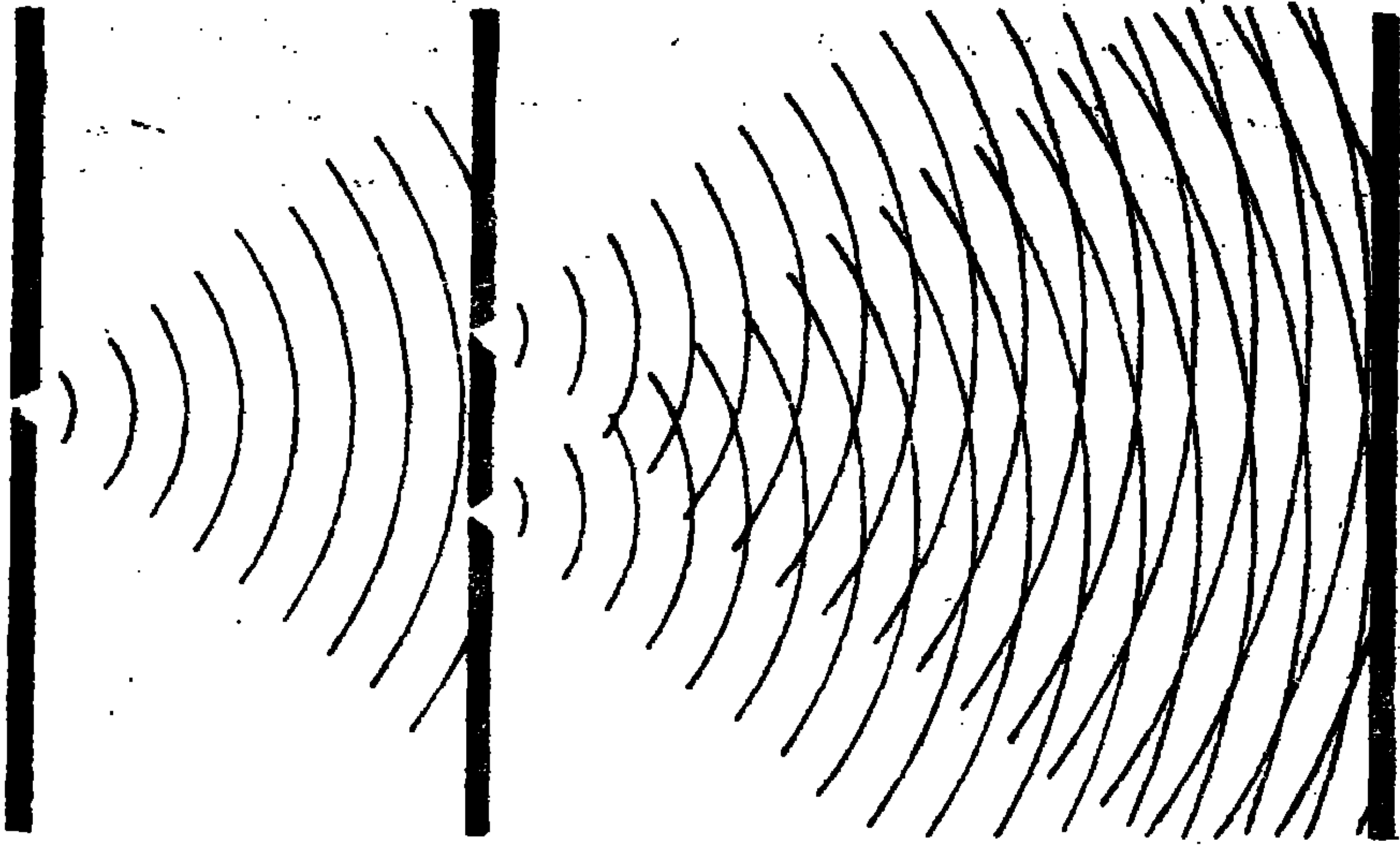


افترحه بوهر في العشرينيات ، هو أن هذه الموجات هي مقياس للاحتتمالات .  
فتنحنت نتحدث عن موجة الالكترون بالضبط كما نتكلم عن موجة الجريمة .  
فقولك ان ضاحية من مدينة أصيبت بموجة جرائم ، يعنى أن احتمال التعرض  
للجريمة في تلك الضاحية أكبر منه في بقية المدينة . وبالمثل ، فإن أشد  
موضع لموجة الالكترون تعنى أكثر الأماكن احتمالا لتواجده ، دون استبعاد  
احتمال وجوده في مكان آخر .

وحقيقة أن موجات الالكترون هي موجات احتمالية تمثل عنصرا  
حيويا في ميكانيكا الكم وفي الطبيعة الكمية للحقيقة . ويعنى ذلك أننا  
ليس بإمكاننا الجزم بما يمكن للالكترون أن يفعله . فقط حساب  
الاحتمالات الممكنة هو كل ما بمقدورنا . هذا القصور الجوهرى يمثل  
نهاية الحتمية في الطبيعة . فهي تعنى أن الكترونين في موقفين متماثلين  
يمكن أن يتصرفا بطريقتين مختلفتين . وهذا يعنى وجود عدم يقين كامن  
في العالم الكمى . هذا الواقع معبر عنه في مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج ،  
والذى يعنى أن الكميات رهن الملاحظة تتعرض لقدر من التغيرات  
العشوائية في قيمها ، مقدارها محدد بثابت بلانك . وقد وجد آينشتين  
في خاصية الاحتمية في العالم الكمى صدمة أدت به للوقوف في وجه  
الفكرة بصرامة ، مقرأ القائلين بها بمقولته الشهيرة : « ان الله لا يقذف  
بالنرد ! » ، وقضى أغلب البقية من عمره يحاول عبثا البحث عن الساعة  
المنضبطة التى تصورها مخفية تحت المظهر العشوائى للميكانيكا الكمية .

ويرى بوهر فى السؤال عن ماهية الالكترون من حيث كونه جسيما  
أم موجة تساؤلا بلا معنى . فلكى يلاحظ المرء الالكترون ، عليه أن يقوم  
ببعض القياسات ، وذلك عن طريق اجراء تجربة ما ( قذف العملة ) .  
والتجارب المصممة للكشف عن الموجات تقيس دائما الخواص الموجية  
للالكترون ، بينما تلك المصممة للكشف عن الجسيمات تقيس الخواص  
المادية . فليس من تجربة على الاطلاق تقيس المزيج بين نواعى الخواص .

وتقدم التجربة الشهيرة التى أجراها فى انجلترا لأول مرة  
توماس يونج Thomas Young فى مطلع القرن الثامن عشر مثالا كلاسيكيا .  
فهو قد أجرى تجارب على الضوء ، ولكن تجربة مقابلة لها أجريت بعد ذلك  
على الالكترونات (٢) . وفى التجربة الأصلية أضاء مصدر ضوئى حائلا  
ذا ثقبين ضيقين ، ثم استقبلت الصور المتولدة على شاشة خلفية  
( الشكل ٣٣ ) . وقد تتوقع أن الصورة المستقبلية هي بقعتان متداخلتان  
من الضوء ، ولكنها فى الواقع متكونة من شرائط متعاقبة تتراوح بين  
الظلمة والاضاءة ، تعرف باسم حروز التداخل interference fringes .



( الشكل ٣٣ ) : تجربة يونج • الضوء القادم من مصدر ( ثقب الشاشة الاولى ) يمرر خلال ثقبين متجاورين ( الشاشة الثانية ) ، ويستقبلان على الشاشة الثالثة ، وتبين الصورة المستقبلية شرائط من الضوء والظلام متعاقبة ، تسمى « حزوز التداخل » •

وظهور حزوز التداخل فى تجربة يونج هو دليل دامغ على الخاصية الموجية للضوء ، حيث ان الموجات اذ تتدخل فانها تقوى بعضها البعض فى مناطق ( مناطق الاضاءة ) ، وفى مناطق اخرى تتلاشى فيما بينها ( مناطق الاظلام ) • ومن البديهي أنه بتغطية أحد الثقبين فان ظاهرة التداخل تختفى •

والامر المستغرب هو حين نتصور الضوء مكونا من جسيمات ، هي الفوتونات • فعند اضعاف الشعاع الضوئى لدرجة مرور فوتون بعد الآخر من المجموعة ، وتسجيل الأثر التراكمى لوصول أحاد الفوتونات واحدا وراء الآخر لمدة طويلة • وفى التجربة المقابلة تقذف أحاد الالكترونات خلال النظام ذى الشقين ، وتستقبل الالكترونات على شاشة وامضة كشاشة التلفاز • ويتكون الشكل النهائى من الومضات المتتالية المعبرة عن وصول الالكترونات واحدا وراء الآخر •

تذكر أننا بسبب عدم اليقين لا نستطيع أن نتكهن بمكان سقوط الفوتون أو الالكترون بالضبط ، ولكن متوسطات التأثير التراكم من « القذف المتتالى للنرد الكمى » سيجعل النمط النهائى يتخذ شكلا معينا •

والأكثر من ذلك ، فهذا النمط هو نفسه سلسلة الأشرطة الحاصلة من تسليط الشعاع القوى دفعة واحدة . واللغز هو أن كل جسيم على حدة ، فوتونا كان أو الكترونا ، لن يعبر الا من ثقب واحد ، ويتصرف كجسيم حين يصل موضعه ، مصطدما بالشاشة في مكان واحد . فكيف تعرف الجسيمات في مجموعها بوجود الشق الآخر ، فتكيف أفرادها نفسها لاحداث نمط التداخل ؟ هل يمكن القول بأن شيئا ما قد عبر الشقين معا كموجة ، ثم استعاد الخاصية الجسيمية عند تحديد موضعه على الشاشة ؟ يا له من أمر ملفت للنظر ، حيث ان هذا الشيء يجب أن يكون عالما بمقصدنا . وكيف يعلم كل فرد من هذه الجسيمات بما سيتصرفه زملاؤه حتى يضع نفسه في الوضع الملائم له من الشكل النهائي ؟ ان هذا لدليل قاطع على الطبيعة الهولوية للنظم الكمية ، والتي فيها تتشكل تصرفات الأشياء في أنماط ليس لها تبرير طبقا للمنطق الحتمي لنيوتن .

وقد عبر بوهر عن هذا الموقف بوضوح . تخيل أننا أردنا الكشف عن الخاصية الجسيمية للفوتونات عن طريق حصر أماكنها بحيث يمكننا تحديد أى من الثقبين قد عبره كل فوتون . عندئذ ، فانه من نتيجة هذا التدقيق في الفحص أن يشوش على النمط التداخلي الذي يميز الخاصية الموجية . وعلى ذلك ، فلو أننا أجلسنا مراقبا عند كل ثقب يسجل مرور كل فوتون خلاله ، فان أثر هذه الملاحظات هو ادخال قدر اضافي من عدم اليقين ( تطبيقا لمبدأ عدم اليقين ) في تصرف الجسيمات . وان القدر من عدم اليقين هو بالضبط ما يكفي لتلطيف النمط الداخلي ، تاركا بقعتين من الضوء كما نتوقع للجسيمات أن تفعل وهي تعبر الشقين ، حيث لا تداخل . وعلى ذلك ، فانه لظهار الخاصية الجسيمية ثشوه الخاصية الموجية ، علينا اذن أن نتعامل مع نوعين متميزين من المشاهدات ، مشاهدات متعلقة بالخواص الجسيمية والأخرى متعلقة بالخواص الموجية . ان نتائج التجربة اذن تعتمد على مشمول العملية التجريبية بأكملها ، الأجهزة مع الفوتونات ( أو الالكترونات ) . وليس فقط طبيعة الضوء ذاتها . واذا كان ذلك يشذ عن منطقنا الفطري ، فلنتذكر أن منطقنا الفطري مؤسس على التعامل مع أشياء أكبر كثيرا من الفوتونات والالكترونات ، وليس من سبب وجيه يجعله مرشدنا للعالم الذري .

### خلق الحقيقة :

واذا كان ما عرضناه للآن ليس مدعاة للبلبله بقدر كاف ، فاليك المزيد مما توصل اليه جون هويلر John Wheeler من جامعة تكساس في أوستن . فقد بين أن الطبيعة الهولوية تمتد ليس فقط خلال المكان بل

وأیضا خلال الزمن • وقد بین هویلر کیف أن القرار بالنسبة لنتیجة التجربة فی اظهار أى من الخصیصتین یؤجل الى ما بعد عبور الثقوب • فمن الممكن أن « تنظر للوراء » من موضع الصورة على الشاشة لتعلم من أى ثقب عبر جسیم ما ، أو قد تقرر ألا تنظر ، مبقیا على نمط التداخل یتشکل على سجیته • وقرار مجرى التجربة حول أن ینظر أو لا ینظر للخلف لحظة وصول الجسیمات للشاشة ، یحدد اذا ما كان الضوء قد تصرف كجسیمات أو كموجات فی لحظة سابقة ، عندما عبر الثقبین عند الحائل الأول •

وقد أطلق هویلر على ذلك تجربة « الاختیار المؤجل delayed choice » • وقد أجرى کارول ألی Carroll Alley من جامعة ماریلاند تجربة مبنية على هذه الفكرة ، أكدت وجهة النظر هذه تماما • وكان الجهاز المستخدم يتضمن نظاما من أشعة الليزر ، ورغم أن التأجيل فی تجربة كهذه لم تزد فترته عن جزء من بليون من الثانية ، الا أن مبدأ خطیرا قد تأكد كحقیقة واقعة • وقد وسع هویلر من الفكرة الى مثال متطرف ، حیث تقدم الطبيعة نوعا من نظام ذی شقین على المستوى الفلكی • قد قدمنا فی الفصل السادس أن جاذبية المجرات أو الثقوب السوداء أو حتی الأوتار الفلكية قد تحنى الضوء على شكل عدسة • وقد یتخیل المرء مصدرا للضوء على البعد السحیق ، یشبه نجم ( کوازار ) مثلا ، یبعث بالفوتونات لتجمع فی البؤرة على الأرض ( الشكل ٣٤ ) • ومسارا الضوء یلعبان دور نظام الشقین ، حیث ان الشعاعین یمکن أن یتجمعا على شكل حزوز تداخل • فاذا ما استنهض مبدأ الاختیار المؤجل ، فان قرار مجرى التجربة للكشف عن أى من الخاصیتین الجسیمیة أو الموجية لضوء الكوازار یؤثر على طبيعة ذلك الضوء ، لیس فقط لجزء من بليون من الثانية من الماضی ، بل لعدة بلايين من السنوات مضت ! وبعبارة أخرى ، فان الطبيعة الكمية للحقیقة تتضمن تأثیرات غیر محلية ، یمکنها من ناحية المبدأ أن تنفذ لأغوار الكون وتمتد عبر دهور من الزمان •



الشکل (٣٤) : جرم ذو كتلة كبيرة ، كمجرة أو حتی ثقب اسود ، یمکن ان یلعب دور عدسة هائلة • فالضوء القادم من مصادر بعيدة یمکن أن ینحني لانحناء الفضاء المحيط بالجرم بسبب الجاذبية • والآن یمائل على نطاق أكبر انحناء الضوء بسبب الشمس ( الشکل ١٦ ) ، ویمکن ان یعطى أكثر من صورة لمصدر الضوء ، كمثل المتلبا به نتیجة الأوتار الكونية ( الشکل ٢٩ ) •

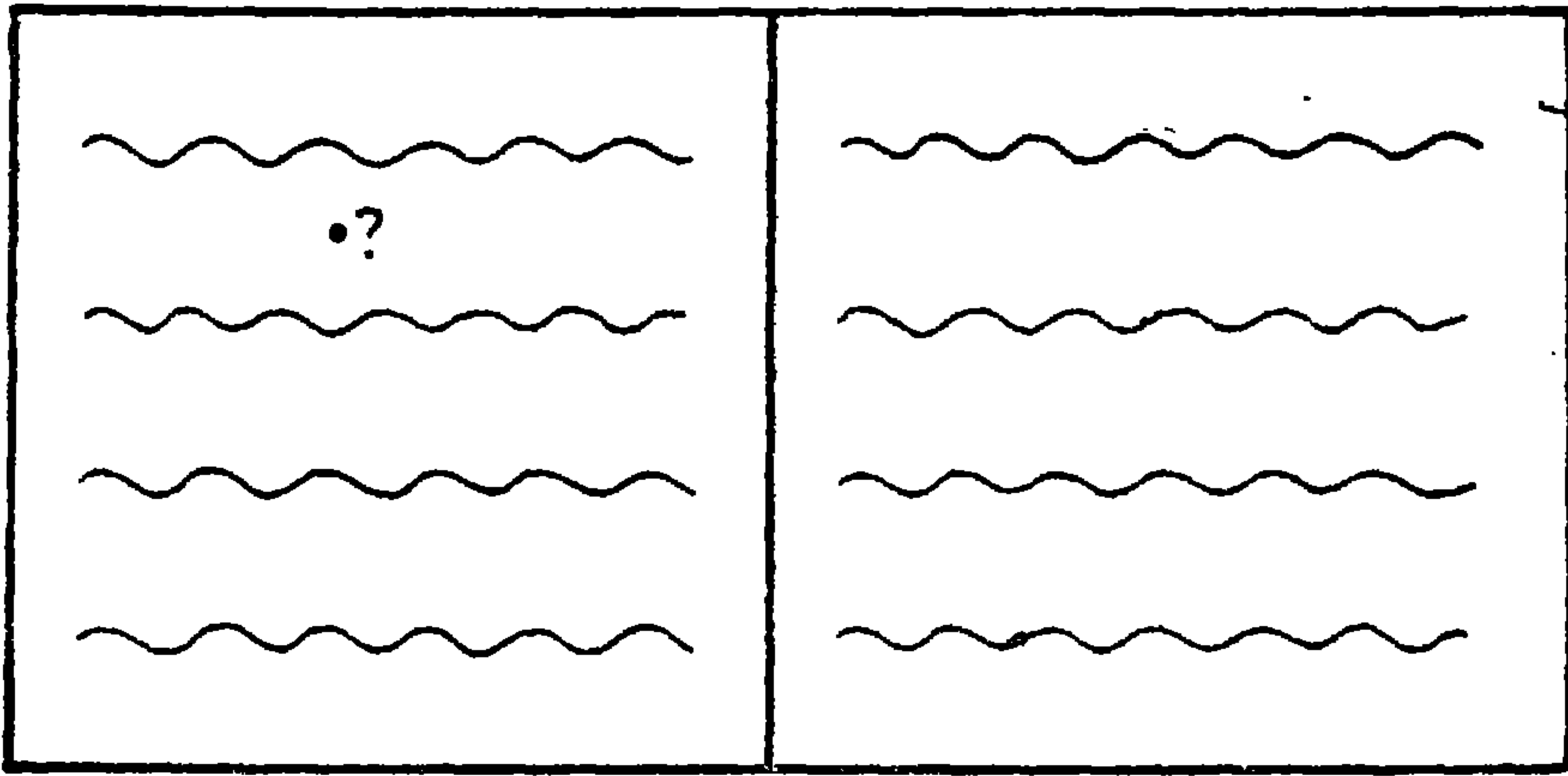
على أنه يجب الانتباه الى أنه لا يمكن استغلال مبدأ الاختيار المؤجل لارسال معلومات الى الماضي . فليس لك مثلا أن تستخدم التجربة لكي تبث اشارة لمشاهد آخر عند مصدر الضوء ، أى عند عدة بلايين من السنوات فى الماضي . ان أية محاولة لتمكين المشاهد الآخر من الرؤية فى المستقبل ، من شأنها أن تشوه الحالة الكمية وتدمر ذات الاشارة التى يحاول المشاهد الأرضى بثها . ومع ذلك ، فتجربة الاختيار المؤجل تبين بصورة توضيحية أن العالم الكمى يملك طبيعة هيولية تخترق الزمن والفضاء ، فيبدو الأمر وكأن الموجات المادية تعلم مسبقا أى من القرارين سوف يختاره مجرى التجربة .

ولعل أكثر ما فى هذه الدراسات من اثاره للقلق هو أنه يبدو أن للمشاهد دورا جوهريا فى بيان وجه الحقيقة على المستوى الكمى . ولقد أزعج هذا كلا من العلماء والفلاسفة لوقت طويل . ففي عصر ما قبل الكم للفيزياء ، كان كل امرئ يفترض أن العالم الخارجى له خصائص ثابتة ومحددة ، لا تختلف بمراقبتها من عدمه ، أو بكيفية تلك المراقبة . بالطبع قد تتداخل المراقبة فى بيان الحقيقة ، حيث اننا لا نستطيع أن نراقب شيئا دون التداخل معه طبيعيا لدرجة ما ، ولكن المبدأ هو أن هذا أمر عرضى متعلق بدقة المشاهدة ، ويمكن العمل ، من حيث المبدأ على ازالة الخطأ الناتج بسبب ذلك الى أكبر قدر ممكن ، أو اجراء التجربة بصورة تأخذ فى الحسبان معادلته تماما . ولكن الفيزياء الكمية تقدم لنا نوعا آخر تماما من الحقيقة ، يتفاعل فيها المشاهد مع الشيء الذى يشاهده بصورة لا تقبل الانفصام . فتأثير عملية المشاهدة هى جزء لا يتجزأ من الحقيقة التى يتم الكشف عنها ، ليس لنا أن نقلل من قدرها أو نعمل على معادلتها .

واذا ما كانت المشاهدة هى أمر جوهري فى طبيعة الحقيقة الكمية ، فان هذا يؤدى بنا الى التساؤل حول ما يجرى حقيقة عند مراقبة الكترون أو فوتون . ولقد ذكرنا من قبل أن الطبيعة الموجية للأشياء المرئية هى بغير ذى وزن يذكر فى الحياة العادية ، ولكن مع اجراء التجارب الكمية فإنه يبدو أن الخصائص الموجية لأجهزة القياس ، بل والأفراد ، لا يمكن تجاهلها .

ويتضح دور المشاهد فيما يعرف باسم « مفارقة القياس the measurement paradox » . تخيل جدلا أن الموجة الخاصة بالكترون قد احتويها فى صندوق ، وبديهي أن الجسم ذاته فى موضع منه .

تخيل أننا شطرنّا الصندوق شطرين ، وأقمنا حاجزا بينهما (الشكل ٣٥) .  
فطبقا لقواعد الكم ، فإن موجة الالكترون ما زالت موجودة في كلا النصفين ،  
عاكسة حقيقة أننا في بحثنا عن الالكترون فانه يحتمل وجوده في أيهما .  
ولكن المنطق البديهي يفرض أنه لا يمكن أن يوجد الا في أى من النصفين .  
تخيل الآن شخصا ما نظر بالفعل ، ورأى الالكترون في جزء ما ، من  
الواضح أن الموجة الاحتمالية يجب أن تختفى من النصف الآخر ، حيث علم  
الآن أنه خاو .

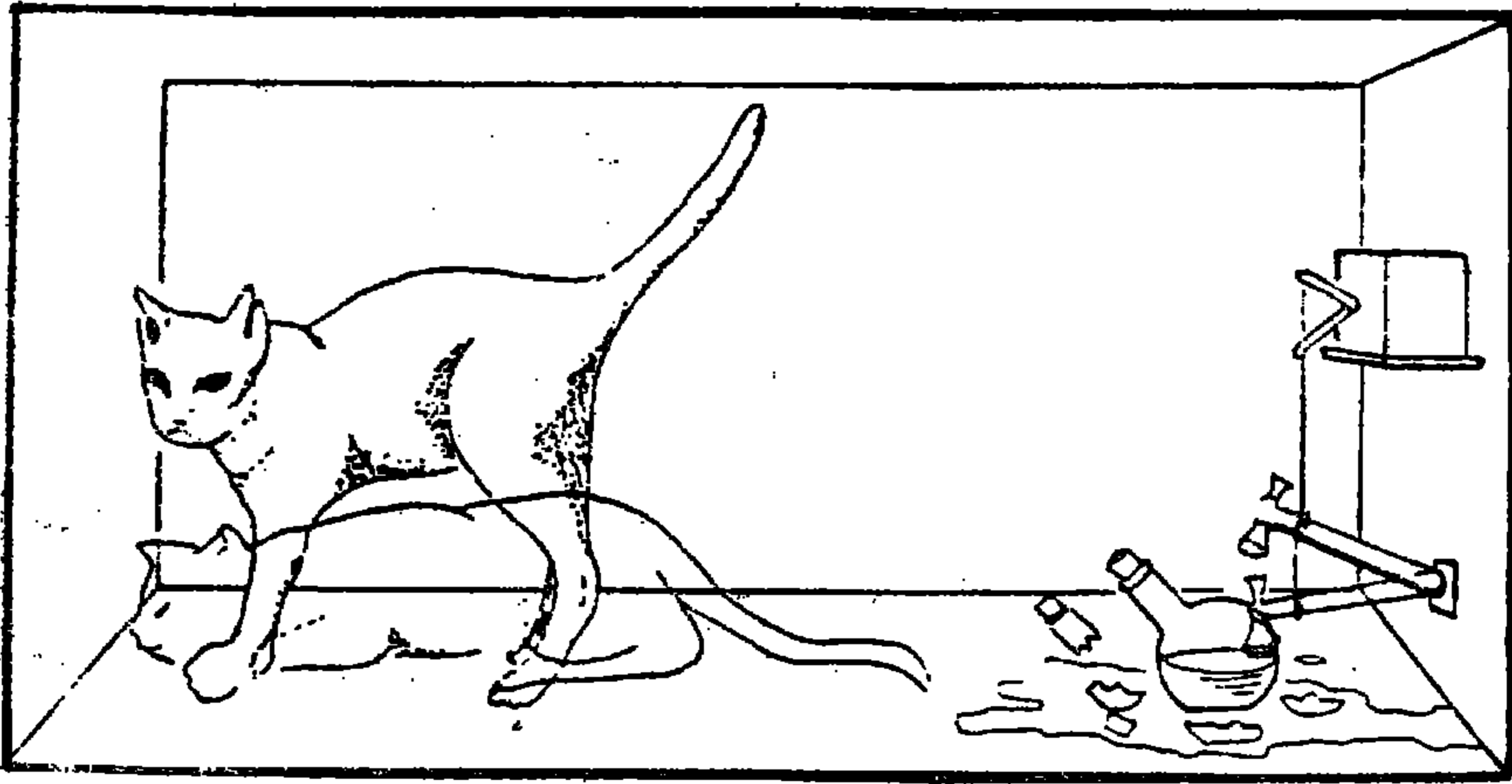


الشكل (٣٥) : الالكترون موجود في قسم من صندوق ، ثم وضع فاصل بين الجزئين .  
الموجة المصاحبة للالكترون منتشرة في الجزئين ، مما يعكس احتمال وجوده في أيهما ،  
بينما يدلنا المنطق البديهي أن الالكترن ، يكون جسيما يجب أن يكون في أحد النصفين .

ان ما جرى بالنسبة للموجة ، وهو ما يطلق عليه غالبا « انهيار  
المعادلة الموجية collapse of wave function » يبدو أنه كان بسبب عملية  
المراقبة . فاذا لم يقم بها أحد ، فلن تختفى أبدا . وعلى ذلك ، فيبدو أن  
تصرف جسيم كالالكترون تعتمد على كونه تحت المراقبة أم لا . هذا الأمر  
مزعج للغاية عند الفيزيائيين ، ولكن قد لا يكون بهذه الأهمية لدى العامة ،  
فمنذا الذى يهتم حقيقة بما يفعله الالكترون ونحن لا نراقبه ؟ ولكن  
المسألة تتجاوز الالكترونات . لو أن الأشياء المرئية تمتلك خاصية موجية ،  
فإن حياد الحقيقة لكافة الأشياء سوف تذهب أدراج رياح الكم .

ويشعر الكثير من الفيزيائيين بعدم الارتياح لفكرة وجود خواص  
موجية للأشياء المرئية ، تلعب دورا في نتائج التجارب التى تجرى عليها .  
والسبب هو امكانية تصور شكلين موجيين متداخلين ، بينما يمثل كل

منهما حالة مناقضة للحالة الأخرى . وأشهر مثال متخيل لذلك هو ما يسمى « قطة شرويدنجر » . فقد تخيل شرويدنجر قطة محبوسة في صندوق يحوى قارورة بها مادة السيانيد السامة ، ومطرقة فوقها ( الشكل ٣٦ ) ، ومادة مشعة ، تشع جسيم ألفا بعد فترة من الزمن ، وهو ما يمكن الكشف عنه بعداد جيغر . ولنتصور أن التجهيز بحيث أن جسيم ألفا حين اشعاعه يتسبب في انزال المطرقة على القارورة فتكسرها ، مسببا وفاة القطة في الحال .



الشكل (٣٦) : تصوير لتجربة قطة شرويدنجر ، تبين حالة مفزعة لقطة حية وميتة في آن واحد ( تنويه لمحبي القطط ، هذه تجربة ذهنية ) .

لنا أن نتصور أنه بعد فترة من الزمن أصبح جسيم ألفا محتبسا جزئيا في النواة ، لم يؤذن له بعد بالتسلل عبر النفق ، وجزئيا قد تسلل بالفعل . وهو ما يمثل الاحتمال المتساوى للحالتين . والآن ، فإن كل عناصر التجربة ، عداد جيغر ، والمطرقة ، والسم ، والقطة ، كلها تعامل كموجة كمية . للمرء اذن أن يتصور وضعين . في الأول تم اشعاع الجسيم ، وسقطت المطرقة ، وماتت القطة . والوضع الآخر لم يحدث شيء من ذلك ، والقطة على قيد الحياة . وبما أن الموجة الكمية يجب أن تحتوى على كل الاحتمالات ، فإن الوصف الكمي لمحتويات الصندوق بأكملها يجب أن يتكون من شكلين موجيين متداخلين ، الأول هو المعبر عن حياة القطة ، والثانى يعبر عن وفاتها . فى هذه الحالة المختلطة ، لا يمكن اعتبار القطة حية قطعا أو ميتة قطعا ، ولكن فى حالة عجيبة بين الحالتين . هل معنى ذلك أنه بإمكاننا أن نصمم تجربة نكشف بها عن هذه الحالة القلقة ، لقطة حية - ميتة ؟ كلا ! فحين يفتح المشاهد الصندوق

ليرى ما بداخله ، فانه سوف يرى احدى الحالتين . يبدو الأمر كما لو كانت الطبيعة تؤجل قرارها بشأن الحيوان المسكين الى أن يقرر أحدهم اختلاس النظر . ولكن هذا يثير السؤال البديهي : ما الذي يجرى حقيقة حين لا ينظر أحد ؟

ومن الواضح من تصور تطبيق الخواص الموجية على الأشياء المرئية، والحية منها ، أنها تنير قضايا عميقة حول طبيعة الحقيقة ، والعلاقة بين المشاهد والعالم الفيزيقي . وقد وضع مثال القطعة السابق عمدا ليصور بدرجة مبالغ فيها الطبيعة المتناقضة لأعاجيب العالم الكمي ، ولكن نفس الظاهرة تحدث كل مرة يشع فيها جسيم ألفا من نواة ، وتمارس دورها بلا كلل على المادة المشعة في عقارب ساعاتنا الضوئية .

ولم يحدث اتفاق بين الفيزيائيين على حل معضلة قطرة شرويدنجر . فيذهب البعض الى أن ميكانيكا الكم تفشل عند مستوى المراتبات ، وينهب رأى آخر الى أن ميكانيكا الكم لا تقول لنا شيئا عن الأفراد ، من جسيمات أو قطط ، بل عن الأعداد الغفيرة منها على صورة احصائية . ولكن ذلك يعتبر مراوغة عن اجابة السؤال حول ما يحدث للقطعة بالفعل .

ولعل أكثر محاولات تفسير هذه الغرائب الكمية هو ما يسمى بنظرية الأكوان المتعددة many universes theory أو التواريخ البديلة histories (alternative) ففي موضوع تجربة القطعة ، تقول النظرية ان الكون قد انقسم لنوعين من الحقائق المتعايشة ، أو المتوازية ، لقطعة حية وأخرى ميتة . ورغم ان الأمر يبدو كالخيال العلمي ، فان النظرية تتفق تماما مع ميكانيكا الكم ، لها أنصار عديدون ممن لهم وزن في علم الفيزياء . ولسوف نلقى نظرة أكثر تفحصا لهذه النظرية عما قريب .

وقد وضعت نظرية العوالم المتوازية كما رأينا التحل معضلة جوهرية متعلقة بطبيعة الحقيقة كما تبدو داخل العالم الذري ودون الذري . فبسبب خاصية الازدواج الموجي - الجسيمي لكيونات مثل الالكترون ، فانه من المستحيل أن نضع لها بعض الخواص ، كأن تكون لها مسار محدد في الفضاء ، كما تعودناه بالنسبة للأشياء المرئية كمسار طلاقات الرصاص أو مدارات الكواكب . وعلى ذلك ، فانه اذا ما انتقل الكترون من الموضع ( أ ) الى الموضع ( ب ) ، فان مساره يكون مشوشا بمبدأ عدم اليقين الكمي كما صاغه هيزنبرج . ان احدى صياغات المبدأ تقول انه من المستحيل أن نقيس الموضوع والسرعة معا لجسيم كمي . أما الصياغة



الأعمق ، فتقول ان الجسيم ليس له بالفعل قيم محددة للموضع والسرعة في نفس الوقت . فاذا ما أردت قياس الموضع بدقة ، فسيكون ذلك على حساب الدقة في السرعة ، والعكس بالعكس . انه لتوجد مقايضة تفوق التصور بين القيمتين . فيمكنك الوصول لدرجة دقة المعلومات كما تشاء ، ولكن على حساب الدقة في معلومة أخرى .

وقد صادفنا مبدأ عدم اليقين عند حديثنا عن الهولية الكمية ، والفراغ ، ومنشأ الزمن ، وهو نفس عدم اليقين الذي يؤثر في الطاقة وفي الزمن ، ويخبرنا كيف أن الجسيمات التقديرية تبرز لنا من اللاشيء ، لتفنى على التو . هذا القدر من علم اليقين لا ينبع من قصور بشرى ، بل هو خصيصة كامنة في الطبيعة . فمهما حاول المرء من تحرر للدقة ، ومن تطوير لقوة الأجهزة ، فلن تقهر الغموض الكامن في عدم اليقين الكمي .

والمقايضة بين الدقة في الموضع ومثلها في السرعة هي مثال آخر للتكاملية الكمية في ممارستها لدورها . فقد اتضح أنها على علاقة وثيقة بتكاملية الجسيم - الموجة . فالموجة المصاحبة للالكترون هي بطبيعتها شيء منتشر ، ليس له موضع محدد ، رغم أنها تحوى شفرة عن المعلومة المتعلقة بالسرعة . وفي المقابل ، فالجسيم المصاحب للالكترون هو بطبيعته ، شيء يحتل موضعاً محدداً ، ولكن موجة تضاعلت الى نقطة لا تحمل معلومة عن سرعة الالكترون . ان لك قياس موضع الالكترون ، حينئذ لن تعرف ( ولا هو ) كيف يتحرك . ولك أن تقيس السرعة للالكترون ، ولن يتاح لك أو له تحديد مكانه .

### معنة أينشتين

في بداية عصر نظرية ميكانيكا الكم ، انقسم العالم الفيزيائي بشأن نتائجها الشاذة معسكرين ، كان على رأس الأول نيلز بوهر ، وضم الذين قبلوا تماماً المضمون غير الحتمي للنظرية ، وأصروا عليه كخصيصة جوهرية للعالم الكمي . وكان على رأس المعسكر الثاني أينشتين ، العالم الذي لا ينكر قدره ، والذي أصر على أن النظرية تعتبر غير تامة طالما أنها تذهب لهذه المقولات غير المنطقية . وكما أسلفنا القول ، فقد كان أينشتين يأمل في أن يكون وراء عالم الكم العجيب حقيقة حتمية للأشياء والقوى التي تتفاعل بالصورة التقليدية طبقاً للأسباب والنتائج . وقد افترض أن هلامية نتائج التجارب هي نتيجة للقصور فيها ، معتقداً أن أجهزتنا ليست مهيأة بطبيعتها للكشف عن التفاصيل الدقيقة للمتغيرات التي تكمن

وراء تلك المسالك الغريبة للجسيمات دون الذرية . أما بوهر فقد ذهب الى أنه ليس لهذه الهولية سبب ما ، وأن ساعة نيوتن الكونية المنضبطة قد ولى زمانها . وبدلا من قواعد صارمة للأسباب والنتائج ، فإن المادة تخضع لقوانين الصدفة . فلعبة الطبيعة أقرب للعبة الرواليت ، منها للعبة البلياردو .

وقد تركز أغلب الجدل حول الحقيقة الكمية على شكل « تجارب ذهنية thought experiment » ، كتلك التي عرضنا لها في قطة شرويدنجر . وقد دار الصراع بين آينشتين وبوهر على هذه الصورة ، حيث يضع آينشتين موقفا تخيليا يتوسم فيه أنه سيفهم بوهر ، ويقوم بوهر من ناحيته بتفنيد الموقف ، واستمرت اللعبة الى أن كف آينشتين عن محاولته ، مركزا على محاولة بيان النقص في النظرية . ومعنى ذلك أن آينشتين ربما يكون قد اعترف مكرها بما في النظرية الكمية من حقيقة ، ولكنه لا يرى فيها كل الحقيقة .

وانصب الجدل حول عدم اكتمال النظرية على مبدأ عدم اليقين . وقد أراد آينشتين أن يبين مثلا ، أن للالكترون موضعا محددًا ، وسرعة محددة في نفس الوقت ، حتى ولو كانت أجهزتنا تشوه من احدى المعلومات عند قياس الأخرى . وقد حاول تخيل طريقة يبين بها أن « عنصرا من الحقيقة » يمكن أن يلحق في نفس الوقت بالصفتين المتكاملتين . وكانت أقوى محاولاته ، والتي صاغها مع زملائه ناثن روزن Nathan Rosen وبوريس بودولسكى Boris Podolsky تفترض الحصول على معلوماتي الموضوع والسرعة لجسيم باستخدام جسيم آخر . فحين يرتد الجسيم الثانى عن الأول الذى هو محل بحثنا ، فإنه يحمل معه معلومات عن موضع وسرعة الجسيم الأول ، بالضبط كما تحمل كرة البلياردو المرتدة معلومات عن سرعة واتجاه الكرة التي اصطدمت بها ، من القوانين المعتادة للتصادم .

لنفرض أن لدينا جسيمين ( أ ) و ( ب ) ، تصادما وتباعدة الى مسافة كبيرة . ان لنا الآن أن نقيس موضع أو سرعة الجسيم ( ب ) . فإذا قسمنا الكمية الأولى ، فسيعطينا ذلك دليلا على موضع ( أ ) . ولكن بإمكاننا أيضا أن نقرر قياس سرعة ( ب ) ، ونستنبط منها سرعة ( أ ) . ورغم أن قياس موضع ( ب ) سوف يؤثر على قياس موضعه ، والعكس بالعكس ، فإن عملية القياس التي تجرى على ( ب ) لن تؤثر على ( أ ) ، لما بينهما من تباعد ، وفى النهاية لن يمكن للقياس الذى يتم على ( ب )

ان يؤثر على ( أ ) ، حين يبلغ التباعد بينهما مسافة سرعة الضوء ، وهو الحد الأقصى للسرعة كما تحدده النسبية . وعلى ذلك ، فان القياس الذي يجرى على ( ب ) لن يؤثر على ( أ ) .

ويبدو أن ذلك قد حسم المسألة . حيث انه بما أن المشاهد يمكنه قياس سرعة ( ب ) أو موضعه ، مستشفا من ذلك القيمة المقابلة ل ( أ ) . وبدون أى تأثير على هذا الأخير ، فانه بالتأكيد لابد أن ل « عنصرى الحقيقة معا » لحظة القياس . كما أنه يمكن تصور قياس موضع ( أ ) باستخدام القياس على ( ب ) ، وقياس سرعة ( أ ) عليه مباشرة ، فنكون قد حصلنا على القيمتين المضبوطتين معا فى نفس الوقت . ومن ثم فقد ذهب آينشتين الى أنه من حيث المبدأ يمكن معرفة الموضع والسرعة لجسيم فى نفس الوقت . وقد بدا له أن عدم اليقين لن يتحقق الا اذا تحقق بين الجسيمات « تأثير غامض على البعد » ينتقل بأسرع من سرعة الضوء ، متحديا النظرية النسبية .

ورغم أن بوهر قسم رده على هذا الجدل ، فان المسألة ظلت فى طى التجربة الذهنية الى الستينيات . فقد مد جون بل John Bell فى مختبر المركز الأوروبى للأبحاث النووية CERN التجربة على زوج من الجسيمات الى مدى من العمليات أوسع ، مستنبطا القواعد التى يجب أن تخضع لها الجسيمات لكى تتفق مع منطق آينشتين فى تصوير الحقيقة . ووجد بل أن ذلك يقتضى تحديدا رياضيا أطلق عليه « متباينة بل Bell inequality » ولأول مرة أصبح من الممكن أن نختبر هذه الأفكار معمليا . وأجريت التجارب للتحقق من صحة اللامساواة المذكورة ، وبالتالى انتصار رأى آينشتين ، أو عدم صحتها ، فيكون هو الخاسر . وازدادت التجارب دقة على مر السنوات ، حتى بلغت أوجها على يد ألين أسبكت Allan Aspect من جامعة باريس عام ١٩٨٢ ، والتى حسمت الموقف بخسارة آينشتين المعركة ، فما معنى ذلك ؟

اذا ما استبعدنا التأثير الأسرع من سرعة الضوء ، فان ذلك يعنى أنه ما أن يؤثر جسيم فى آخر ، حتى يظل الاثنان مترابطين بصورة ما ، فيشكلان واقعا نظاما لا ينقسم . ولخاصية « عدم المحلية » هذه مضامين خطيرة . فلنا أن نتصور الكون شبكة مهولة من أجسام مترابطة ، كل رابطة تجمع بين أطرافها فى نظام كمى موحد . وعلى الرغم من أن الكون — من الوجهة العملية — من التعقيد لدرجة عدم ملاحظة الترابط الخفى الا فى تجارب معينة كتلك التى أجراها أسبكت ، الا أنه توجد نكهة كمية قوية فى وصف الكون .

وقد قضت تجربة أسبكت على آمال آينشتين في أن يكون وراء عدم اليقين الكمي قوى خفية تمارس نشاطها . فلا بد أن نتقبل وجود عدم تحديد كامل لا يتخلص منه في الطبيعة . فالإلكترون وغيره من الجسيمات الكمية ليست لها مواضع وسرعات محددة إلا إذا أجريت تجربة فعلية لقياس أى من تلك القيم . فعملية القياس هي التي تجعل الهلامية تتحول الى نتائج محددة قاطعة . ان هذا المزيج من عدم اليقين مع انهيار الدالة الموجية هو ما يؤدي لمعضلة القطة . ولكننا الى الآن لم ننظر الا لصورة مبسطة للغاية من اللغز . فما الذي يحدث حين نطبق ما تعلمناه منه على الكون في مجموعه ؟

ان مضمون خرافة القطة الحية والميتة تنتظر شخصا ما يختلس النظر في الصندوق حتى يتحدد مصيرها - يبدو سخيفا ، لأنه يفترض أن القطة نفسها تعلم ان كانت حية أم ميتة . ألا تمثل هذه المعرفة جزءا من الملاحظة المؤدية لانهيار الدالة الموجية الى حالة محددة من الحالتين ؟ أليس من المؤكد أن الملاحظات الكمية لا يشترط أن تكون مقصورة على البشر حين ينظر اليها كمحدثات لحالة من حالات الحقيقة ؟ وإذا كانت القطة صالحة للقيام بالمهمة ، فماذا عن النمل ؟ وعن البكتيريا ؟ أم تراه بإمكاننا أن نتخلى كلية عن عنصر الحياة ، ونترك المهمة لحاسوب ، أو كاميرا ؟

وفيما يتعلق بالعالم الخارجى للصندوق ، فانه بإمكاننا النظر للمختبر بأكمله كصندوق كبير . فاذا ما نظر المراقب داخل الصندوق وحدد مصير القطة ، فان زميلا له بالحجرة المجاورة قد لا يعلم ذلك ، فهل الموجة الكمية للمختبر ككل تتلاشى لو أنه دخل من الباب وسأل عن حالة القطة ؟ من المؤكد أن هذا يؤدي بنا الى تسلسل لا نهاية له . كل نظام كمي يمكن أن ينهار الى حالة محددة حين يشاهد من نظام خارج عنه ، ولكن النظام الأكبر يظل في حالة اللاتحديد حتى يراقب من نظام أكبر ، وهكذا .

وقد اقترحت أفكار عديدة للخروج من هذا المأزق . واحد هذه الأفكار المثيرة للجدل الشديد هو ادخال عنصر الوعي في الموضوع ، بافتراض أن التسلسل يقف عندما تدخل النتيجة عقلا مدركا . ويدخل هذا عنصرا شخصيا على العالم ، حيث انه يجبرنا على تصور أن العالم الخارجى لا يوجد في صورة محددة حتى نراقبه ، ويبدو ذلك وكأننا لا نراقب العالم الخارجى ، بل نصنعه .

والكثير من العلماء مقتنع بتجاهل هذا التسلسل اللانهائي ، على أساس أنه مهما كان كبير مختبرهم ، فما يزال هناك الكون بأسره كعالم خارجه يمكن أن يسبب انهيار محتويات المختبر الى حقيقة مؤكدة . ولكن الفلكيين ليس لديهم هذا الخيار ، فمختبرهم هو الكون ذاته ، وليس خارجه شيء يراقبه .

### الحقيقة المتعددة

هذا هو المنطلق الذى يبدو أن تفسير العوالم المتعددة قد فرض نفسه علينا . وبلغة العلم الجاد ، فى مقابل الخيال العلمى ، ترجع الفكرة الى عام ١٩٥٧ ، مع أعمال الأمريكى جورج افريت Haugh Everett وقد أدخلت عليها التحسينات منذ ذلك الحين . وكما ذكرنا من قبل ، فإن فكرة الأكوان المتعددة قد ظهرت لكى تحل معضلة القطة بافتراض أن الكون منقسم الى نسختين ، يتعايشان متوازيين . وليس من بأس اذن فى تطبيق الميكانيكا الكمية على الكون بأسره ، طالما أننا مستعدون لتقبل فكرة الخيالية لحد ما ، بأن الكون ينقسم باستمرار الى نسخ لا حصر لها قريبة الشبه من بعضها البعض ، كل نسخة تقابل حالة من الحالات المحتملة للتفاعلات الكمية . وتفترض نظرية افريت نوعا من تعدد الحقائق ، يتعايش فيها عدد لانهاى من الأكوان . ورغم ما فيها من غرابة ، فإن الصياغة الرياضية لها تتفق تماما مع الميكانيكا الكمية فى صورتها التقليدية ، ويتمثل وجه الجدة فيها فقط فى تفسير الكميات التى تظهر من المعادلة .

والحجة الواضحة ضد الفكرة أننا نعيش فقط وجهها واحدا من الحقيقة ، فى كون واحد ، فأين الباقون . وحتى نفهم الاجابة علينا أن نأخذ صورة أرحب لمفهوم الزمكان الذى عرضنا له فى ثنايا هذا الكتاب . حين ينقسم الكون الى عدة نسخ ، فإن كل نسخة لا تحتوى فقط على نسخ من الأشياء المادية ، بل على مكان وزمن أيضا ، بمعنى أن كل كون « جديد » يتولد معه فضاءه وزمنه . والعوالم الأخرى ليست « هناك » بالمعنى الدارج ، فليس بالامكان الوصول اليها من عالمنا ، بل هى زمكانات تامة فى حد ذاتها . ونحن حين نسأل عن مكان شيء ، نفترض عادة أنه على بعد وفى اتجاه ما منا . ولكن عوالم افريت ليست فى كوننا بالمرّة ، فهى ليست على بعد معين أو فى اتجاه معين بالنسبة لنا .

وقد يكون من الصعب أن نتصور ذلك . ولكن الواقع هو أن عدم قدرتنا على التصور لعدة زمكانات لا يلغى احتمال وجودها من الوجهة المنطقية . فما زال بإمكاننا أن نصفها رياضيا . على أن قدرا من التخيل

مفيد . وأحد الاحتمالات هو تخيل هذه العوالم مكسدة فوق بعضها كصفحات فى كتاب ، وفى هذا التجمع الثنائى الأبعاد نمثل كل صفحة كونا متكاملا ، أى زمكانا ومادة . ويختلف شكل كل كون قليلا طبقا للخيارات الكمية المتاحة له . وبتحركنا من صفحة لأخرى ، مبتعدين عن الصفحة التى اخترناها مرجعا لنا ، تتراكم الفوارق .

وأحيانا تصور الأكوان المتعددة كأفرع الشجر . « الجذع » يمثل كونا معيناً ، هو الذى نشير اليه كنقطة مرجعية لنا ، والذى يتفرع ثم يتفرع فى احتمالاته الكمية المختلفة . ولنا أن نتصور شريحة أفقية عبر كل هذه الأفرع عند لحظة معينة ، تتقاطع خلال الجمع بأكمله من أكوان تمت جميعا من الكون الأصلى . وبوجه عام ، فالجذع ذاته هو فرع من شجرة أكثر تقدما ، تمتد للانهاية .

وحين سمع الناس لأول مرة عن النظرية اعترضوا بأنهم لا يشاهدون مثل هذا الانقسام . ولكن الخصيصة الأساسية فى النظرية أن المشاهدين البشرين ليسوا استثناء من عملية الانقسام ، فهى تتم بالنسبة لهم أيضا . وفى مثال القطة التى ينقسم الكون فيها الى كونين ، يكون ذلك بكل شئ بما فيه المختبر والمراقبون . وفى كل نسخة ينظر المراقب ليرى مصير القطة ، فيراها أحدهم حية ويراها الآخر ميتة ، وكل مراقب يقع فى الخطأ الشائع وهو أن الحقيقة تكمن فيما يراه هو .

الا أن هناك تعديلا آخر لفكرة الأكوان المتعددة ، تتمثل فى استبعاد الانقسام ، وتصور وجود نفس العدد دائما ( فى الواقع عدد لانهاى ) من الحقائق المتوازية ، ولكن فى كل لحظة يكون عدد من النسخ متطابقة بالضبط . وفى مثال القطة ، لنا أن نتخيل كونين موجودين قبل التجربة ، ولكن غير متممايزين بالمرّة . وفى لحظة اجراء التجربة يتمايز الكونان بوجود القطة حية فى أحدهما وميتة فى الآخر .

ومن الطبيعى أن يثور التساؤل حول امكانية السفر عبر تلك الأكوان ، أو على الأقل الاتصال بها . والاجابة هى أنه بالنسبة للمجرى العادى للأمور فإن هذا غير ممكن . فليس لنا للأسف أن نلجأ لفكرة الحقائق المتوازية لنفس وجود الأشباح أو الكائنات غير البشرية أو الأجسام الفضائية الغامضة . فنظرية افريت مؤسسة على أن الأفرع المختلفة لكون ما ( أو أكوان ) هى صور تبادلية للحقيقة ، منفصلة فيزيائيا .

وهذا هام لكى تحل مفارقات القياسات الكمية ، وتحاشى الشعور بالانقسام .

ولكن ، كما وضعنا فى أمثلتنا لفقرتين مرتا ، فان القياس كما نفهمه عادة هو ما يحدث حين نعى تغيرا على المستوى المرئى ، كنبضة لعداد جيجر أو حركة فى مؤشر ( أو حالة صحية لقطعة ) . وتسجل أدمغتنا هذه الحوادث بدرجة دقيقة لكون الأجهزة وعقولنا كينونات مرئية ، تتجامل التغيرات على المستوى الكمى . ومن الممكن مع ذلك تصور كائن واع تعمل حواسه وذاكرته على المستوى الكمى . وفى الواقع ، فان علماء الحاسوب يعملون جادين على انتاج أجهزة على المستوى الجزيئى امعانا فى تصغيرها أكثر من المتاح فى الأجيال الحالية . وقد اقترح الفيزيائى البريطانى دافيد دويتش David Deutsch تجربة مؤسسة على هذا التصور ، والتي فيها يبدو من الممكن اجراء اتصال فج بين العوالم المتوازية .

وفى تجربة دويتش ، يطلب من عقل كمى ( سواء آكان طبيعيا أم صناعيا ) أن يجرى تجربة كم تقليدية ذات خيارين . مثلا ، أن يراقب انحراف الكترون الى اليمين والى اليسار من هدف معين . وطبقا لنظرية العوالم المتوازية ، فان هناك كونا للالكترون المتجه لليسار .

والآن ، فحين نرقب الكونين ينقسمان أو يتمايزان ، فاننا نفعل ذلك بصورة غير قابلة للانعكاس . فنحن لا نستطيع ، على المستوى المرئى ، أن نتصور التطورات التى فيها يعود الكونان للاندماج ، أو يصبحان متماثلين مرة أخرى . فمن الواضح أن حادثة كموت القطعة هى غير منعكسة . أما على المستوى الذرى فمن المتصور أن تكون الحوادث انعكاسية تماما . فمن السهل تصميم تجربة على المستوى الذرى يتعرض جسيم فيها التجربة ذات خيارين ، ولكن الحالة تعود من حيث المبدأ للوضع الابتدائى .

وباختصار ، فانه على المستوى الذرى يمكن للعوالم أن تنقسم وتنمى عن طريق التحكم المناسب . هذه الحالات التوهمية لا يمكن لنا أن نراها معا ، لأنه بمجرد أن نحاول مشاهدتها ندخل عليها تأثيرا مرئيا . لا انعكاسيا يودى لانقسام العوالم نهائيا . أما العقل الكمى الذى تصوره دويتش فيمكنه مشاهدة الأشياء دون أن يسبب هذا الانقسام الدائم . فهو يمكن أن يسجل الحقيقة التوهمية ، بدون أن يحول دون عودة اندماجها بعد انقسامها المؤقت . وفى مرحلة الانقسام ، يمكن للعقل أن ينقسم الى

نسختين ، تنسجان بعد التجربة • وتحمل كل نسخة ذاكرة مختلفة عن تصرف الالكترود قيد المشاهدة • فالعقل المندمج مجهز بذاكرتين ، ويمكنه أن يخبرنا عن الحوادث كيف كانت في كلا العالمين المحتملين • وبهذه الطريقة البسيطة ، يمكننا بالفعل الحصول على معلومات حول أكثر من وجه للحقيقة •

وتعتمد تجربة دويتش على ذكاء على المستوى الكمي ، وعلى الرغم من أن هذه الأفكار قد أخذت بجدية من بعض خبراء الذكاء الاصطناعي ، فما هو مجمع عليه أنه سيمر وقت طويل قبل تحقيق شيء من هذا القبيل • وأثناء ذلك ، من المثير أن نسأل عن أية شواهد غير مباشرة لوجود الحقيقة المتعددة

### المصادقات الكونية

على مدى السنوات الماضية ، كان الفيزيائيون والكونيون في تأثر بالغ لحقيقة أن الكون الذي نعيشه مبني على مجموعة من الصدف السعيدة • ويكفي ذكر عدد منها على بيان الفكرة •

وأحد أهم هذه الصدف هو استقرار النواة • تذكر حديثنا عن اشعاع ألفا ، والذي بدأنا به حديثنا عن عجائب الكم • فمكونات النواة مترابطة ، كما قدمنا ، بواسطة قوة نووية شديدة • فاستقرار النواة مبني على التوازن بين القوة الشديدة ، وقوة الاشعاع الكهرومغناطيسي ، وتأثير النفق الكمي • والعدد المتاح من هياكل النواة التي يمكنها أن تستقر تحت هذا التوازن قليل للغاية •

ويضرب لنا فريمان دايسون Feeman Dayson مثلا محلدا ، فلو أن القوة الشديدة كانت أقوى بنسبة بسيطة ، لضمت كل بروتونين في رابطة مستقرة ، بما يقاوم التنافر الكهربى بينهما ، دون حاجة لمساعدة من نيوترون أو أكثر • ولو تم ذلك فإن أحد البروتونين كان سيتحول الى نيوترون ، منشئا ديوترون ، وهي نواة الديوتوريوم ، وهو وقود نووى فعال ، كان من شأنه أن يحرم الكون منذ عهد الانفجار العظيم من تكون البروتونات الحرة ، ومن ثم ذرة الهيدروجين التي تعتبر حجر البناء الأولى للكون كله ، ولما تكون الكون وكانت الحياة على الصورة التي نعيشها الآن •



وبنفس الدرجة الدرامية ، نجد نفس التداخيات لو أن القوة النووية كانت أقل بنسبة ضئيلة بالنسبة لقوة التنافر الكهربى ، حيث لم تكن الذرات لتتكون . ونفس هذا التوازن الدقيق متحقق بين بقية قوى الطبيعة .

فقد بين الكونى براندون كارتر *Brendon Carter* كيف أن تكون النجوم يعتمد على توازن دقيق بين الجاذبية وقوة الكهرومغناطيسية . فشمسنا نجم أصفر ذو حجم متوسط ، تتوقف الحياة على الأرض على طبيعته الأساسية . ولو أن تلك القوى كانت فى تناسب مخالف قليلا لما هى عليه ، لما تكونت نجوم مثله ، بل لكانت اما عمالقة زرقاء أو أقزاما بيضاء ، بحسب فى أى جانب مال التوازن .

هذه « الصدق » الظاهرية ، وربما المزيد على شاكلتها ، قد اقنعت بعض العلماء أن هيكل الكون الذى نشاهده حساس بدرجة مثيرة للدهشة لأدنى تغير فى القيم الأساسية للطبيعة ، كما لو كان هذا التنظيم المتقن للكون نتيجة ضبط دقيق . أما ظهور الحياة على وجه الخصوص ، وما تلاها من مخلوقات عاقلة ، فهو نتاج ضبط غاية فى الدقة ، لحساسيتها البالغة للظروف التى أوجدتها .

وتبدو للبعض هذه الصدق الاتفاقية فى العالم الفيزيقي ، وكأنها تأزرت عمدا للسماح للإنسان العاقل بالوجود ومراقبة الكون ، تأكيداً للإيمان بوجود خالق مبدع . أما البعض الآخر ، فيلجئون لنظرية تعدد الأكوان كتفسير لوجود هذه الصدق الفلكية . فإذا ما وجد حقيقة مصفوفة لا نهائية من الأكوان ، كل كون يحقق اختلافا طفيفا للاحتتمالات الكمية ، فالباب مفتوح اذن لأية صورة لكون مهما كانت درجة تميزه أو حساسية تشكيله . وعلى ذلك فليس مستغربا أن يكون الكون الذى نعيشه على هذه الصورة من التوازنات الدقيقة ، حيث انه فقط فى مثل هذا الكون ( أو الأكوان ) والذى تنهيا فيه الظروف الدقيقة لوجود الحياة العاقلة سيوجد مراقبون يتفكرون فيما يحدث .

وإذا صح هذا الرأى ، فإن البقية الغالبة من الأكوان تكون غير مأهولة ، وتمضى بلا مراقبة . فقط عدد متناه فى الصغر - عدة صفحات من سفر الأكوان الضخم - ستتتحقق فيه كل هذه المصادفات ، ومن ثم فعدد متناه فى الصغر من كل هذه الأكوان قد تم الإدراك به .

مثل هذا المنطق ، والذي يعرف بالمبدأ الأنثروبولوجي **anthropic principle** ، قد عرضنا له باختصار في الفصل الثاني ، في معرض حديثنا عن قوانين الفيزياء بوجه عام . وهو قد يقدم دليلا عرضيا على وجود الأكوان المتعددة ، ولكن الكثير من العلماء يميلون لافتراض وجود الخالق الأعظم . وإلى أن نتمكن من بناء العقل الكمي الفائق ، فإن الصنف الفلكية تعطى أفضل دليل على تصور الأكوان المتعددة .

والمزيد من الجدل حول الموضوع أمر غير مجد ، إلى أن يتحقق الذكاء الكمي . وفي الأثناء ، ومدعين بفهم أعمق للعمليات ( والفرايب ) الكمية ، يمكننا أن نسبر لأغوار أعماق أسرار الفضاء والزمن كما يعرضها العلم الحديث .

### هوامش الفصل السابع

- (١) اللهم إلا إذا تغيرت درجة الحرارة مثلا .
- (٢) حاز كل من دافيدسون وتومسون على جائزة نوبل عام ١٩٢٧ لاجراء هذه التجربة التي ايدت تنبؤ برولى في الموجات المادية ، ولعلها أخطر تجارب القرن العشرين على الإطلاق - ( المترجم ) .

## الفصل الثامن

### الشبكة الكونية

الأسطورة المادية مبنية على خرافة أن الكون الطبيعي ليس مكونا إلا من أجسام من مادة خاملة تتدافع وتتصادم كمثل الآلات الميكانيكية منضبطة التصميم . وقد رأينا كيف أن الفيزياء الحديثة ، وبأكثر من طريقة ، قد وضعت حدا لهذا التصور . وقد سحبت الميكانيكا الكمية على وجه الخصوص البساط من تحت أى تصور ميكانيكى مبسط . وقد وجدنا كيف أن اللامحلية الكمية تمنع أى تصور للاستقلالية بين الكينونات، حتى بين الجسيمات المتباعدة تباعدا كبيرا . وحين تمتد ميكانيكا الكم لتشمل مفهوم المجال ، وهو فرع من العلم يسمى النظرية المجالية الكمية quantum field theory ، فهى تقدم لنا عالما من الأعاجيب ذا نشاط مهول ، كالجسيمات التقديرية وتهيج الفراغ ، فحتى تماسك المادة الطبيعية قد تميع الى صورة من تهيج أنماط غير متجسدة للطاقة .

وتخلق النظرية المجالية الكمية صورة لكون تغطيه شبكة من التفاعلات المتبادلة تنسجه فى كل متكامل . وكما قدمنا ، فقد تعرف العلماء على أربع قوى أساسية فى الطبيعة : الكهرومغناطيسية والجاذبية والنووية الشديدة والنووية الضعيفة . ثلاث من تلك القوى يمكن وصفها بدقة بلغة نظرية المجالات الكمية ، كجزء من الشبكة الكونية . ولكن الجاذبية قاومت بعناد أن تنصهر فى هذه البوتقة . ويعتبر هذا قصورا شديدا فى وصفنا للطبيعة . وكما رأينا ، فالنسبية العامة تربط الجاذبية

برباط وثيق بهندسة الزمكان ، وبوصفها هذا تمثل أساسا من أحد أساسين راسخين للعلم الحديث . وتمثل النظرية الكمية الأساس الثاني، ولكن الحقيقة الحالية هي أن التزاوج بين النظريتين لا يزال أمرا غير متحقق .

وليس من السهل التجاوز عن هذه الصعوبة ، لأن تناسق النظرية الكمية يتطلب أن تكون الطبيعة بأكملها خاضعة لقواعد الكم . وإذا لم يتحقق ذلك ، فانه يكون من المتصور اجراء تجربة في نطاق الجاذبية ، تخرق مبدأ عدم اليقين مثلا . ولقد تزايد انفعال الفيزيقيين مؤخرا لفكرة أنه عندما تأخذ الجاذبية وجهها جديدا تماما ، فلن يصبح من الممكن فقط أن تعطى وصفا كميا مناسباً ، بل سوف يتحقق توحيد قوى الطبيعة الأربع في قوة فائقة موحدة ، بما يؤدي لتحقيق شبكة كونية حقيقية متناسقة .

### فوتونات الضوء تضيء الطريق

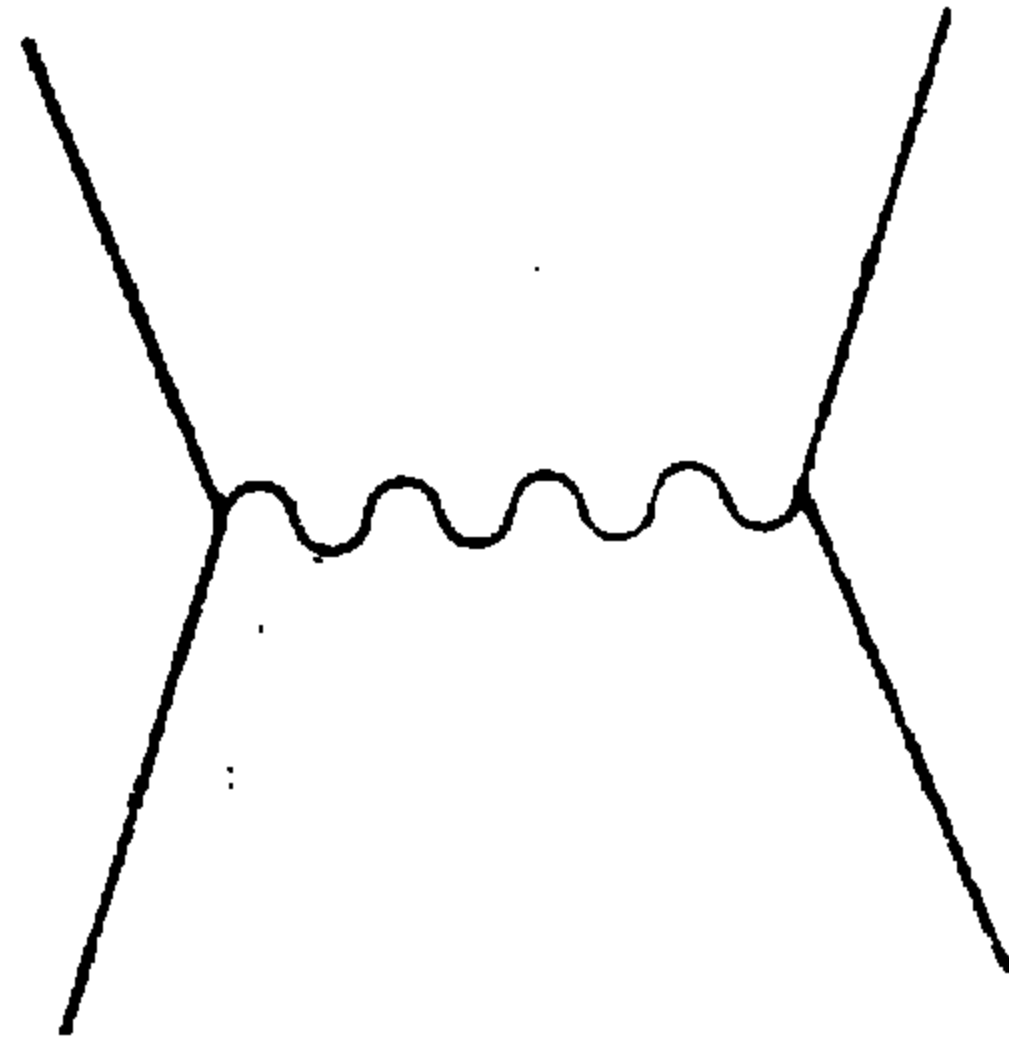
للقاء الضوء على الصعوبات التي تواجه وضع نظرية كمية للجاذبية، سيساعدنا أن نراجع الحالة الأبسط ، حالة الكهرومغناطيسية ، أول النماذج لنظرية كمية مجالية . فالجسيم المشحون ، كالالكترون مثلا ، وهو أصل المجال الكهرومغناطيسي ، يمكن النظر اليه كجسيم متمركز ، محاط بمجال غير مرئي من الطاقة الكهرومغناطيسية ، على شكل هالة منتشرة حوله في الفضاء . وحين يقترب الكترون آخر من الأول ، فانه يحس بهذا المجال ، ويتعرض لقوة طاردة . فكأن الالكترون الأول قد أرسل رسالة تحذير للثاني : « أنا هنا ، فانصرف لشأنك » .

وتنتقل الرسالة خلال المجال على شكل اضطراب ، يمارس تأثيرا ميكانيكيا على كل من مرسل الرسالة ( الفعل ) ، والمرسل اليه (رد الفعل) . وبهذه الطريقة تتفاعل الجسيمات المشحونة كهربيا على بعضها البعض عبر الفضاء الخاوي . وطبعاً ، في التصوير الكلاسيكي للعملية ، فإن الرسالة المنتقلة بين الفعل ورد الفعل تحمل عن طريق اضطرابات في المجال الكهرومغناطيسي ، ألا وهي الموجات الكهرومغناطيسية .

وتحتفظ النظرية الكمية بالفكرة الأساسية للمجال ، ولكن التفاصيل تتغير تغيراً جذرياً . فالاضطرابات الكهرومغناطيسية ، كما رأينا ، لا تبث ولا تمتص الا في وحدات أولية من الكم ، وهي الفوتونات ، وعلى ذلك فعلى أن نتصور اضطرابات المجال الكهرومغناطيسية التي تنقل التفاعل على أنها تبادل للفوتونات .

هذه الفوتونات في الواقع هي التي تنقل الرساله بين الجسيمات المشحونة . وبدلا من تصور المجال الخاص بكل الكترون على انه يشوش باستمرار على مسار الالكترونات الأخرى ، فاننا نتصور ان الالكترون الاول يرسل فوتونا يمتصه الثاني ( الشكل ٣٧ ) . ويمكن تصوير ذلك كارسال قذيفة ، يرتد لها الأول للخلف ، وينحرف لها الثاني نتيجة التصادم بها . ويتم الاضطراب بصورة فجائية . فالمشاهد سوف يرى النتيجة النهائية ، على صورة تشتت للالكترونين أحدهما عن الآخر ، ونستنبط أن الشحنات الكهربائية تسبب التنافر .

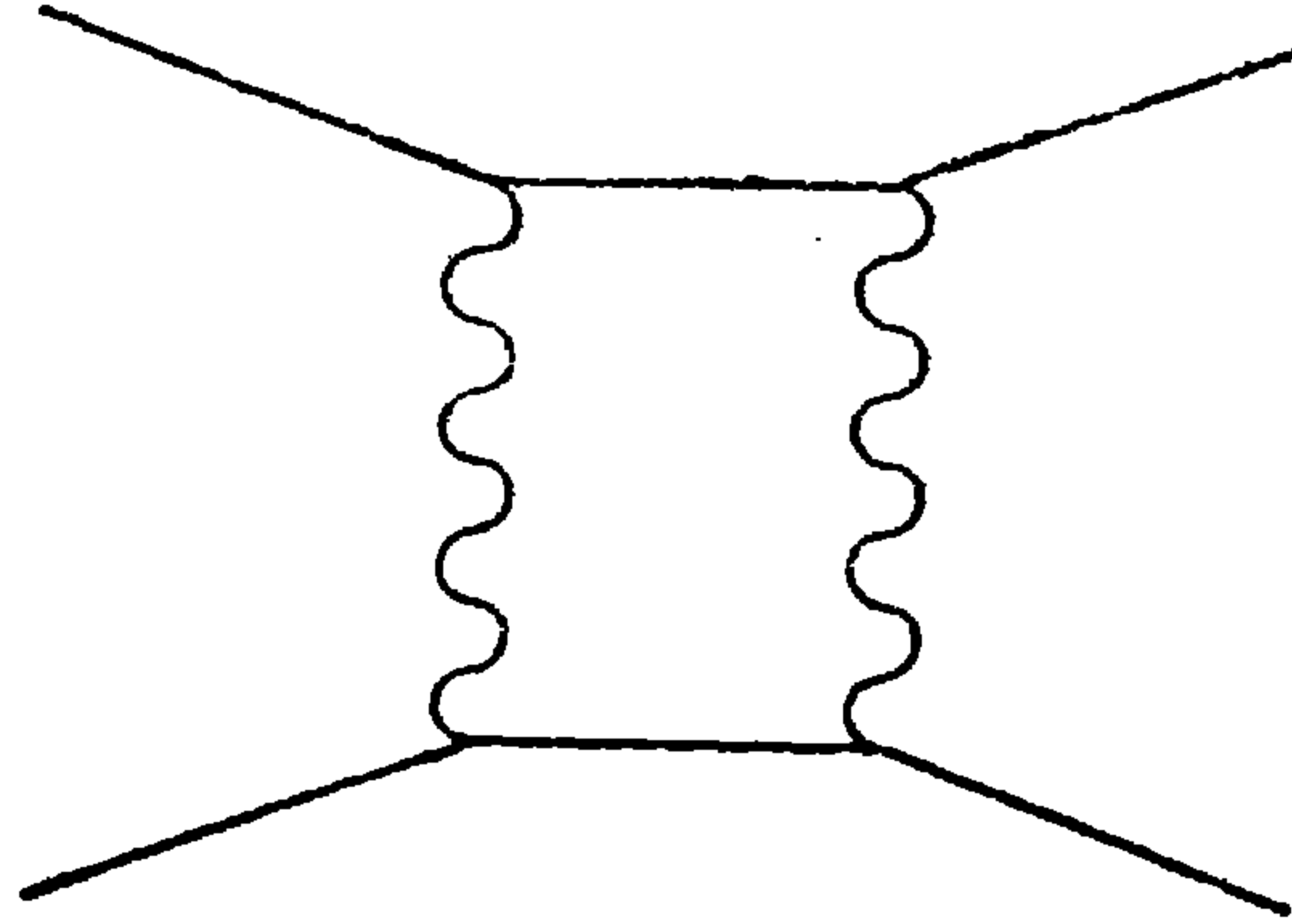
على الرغم من كون الصياغة الرياضية لهذه العملية التشتيتية تتضمن تغيرات فجائية ، فهي لا يمكن أن تستخلص من تجربة ، ولا يمكن مشاهدة مرور الفوتون مباشرة . ويرجع ذلك لحالة الابهام الأصلية التي تتميز بها النظم تحت الذرية ، كما تقتضيها النظرية الكمية ، والتي تتمثل في مبدأ عدم اليقين . فالالكترونات لا يمكن أن تتخذ مسارات محددة في الفضاء ، حتى التسلسل الزمني الذي يتم به بث وامتصاص الفوتون غير دقيق . فالفوتونات الوسيطة تكتسب صورة شبحية ذات مرور عابر . ولتمييزها عن الأنواع دائمة الوجود التي ألفناها أسميت بالتقديرية . وقد عرضنا للجسيمات التقديرية عامة في الفصل الخامس ، حيث ناقشنا أثرها على طبيعة الفراغ ، وهي تلعب دورا في العالم الكمي .



( الشكل ٣٧ ) : تفاعل الالكترونات فيما بينها بتبادل الفوتونات التقديرية ، فيعمل الفوتون ( الخط الموج ) كوسيط ينقل القوة بين الالكترونين ، وتكون النتيجة هي تشتتتهما عن بعضهما البعض . ( يسمى هذا التصوير « مخططات فاينمان » ) .

ورغم أننا وصفنا عملية تشتت الالكترونات من مفهوم تبادل فوتون وحيد بين جسيمين مشحونين ، فهناك امكانية تبادل فوتونين ، أو أكثر

( الشكل ٣٨ ) • وقد تبين أن تبادل فوتونين له أثر أضعف على العملية الفيزيائية بأكملها ، وتبادل ثلاثة أشد ضعفا وهكذا •



الشكل (٣٨) : هناك امكانية ان يتفاعل الكترونان بتبادل اكثر من فوتون ، مما يترتب عليه تصحيحات في حسابات التششت للالكترونات •

ورغم أن تبادل الفوتونات على المستوى الفردي لا يمكن ملاحظته تفصيليا ، فإن المعالجة الرياضية لهذه الأفكار تعطينا توقعات صريحة يمكن ملاحظتها ، كمتوسط قياس زاوية التششت حينما يتصادم شعاعان من الالكترونات • وفي هذا الخصوص كان وصف القوة الكهرومغناطيسية على أساس تبادل الفوتونات نجاحا منقطع النظير • وقد أجريت الدراسة التفصيلية لهذا الموضوع في أواخر الأربعينيات ، وسميت الكهروديناميكية الكمية (Quantum electrodynamics (QED) (١) • وتسمح لنا النظرية بتقدير تأثيرات دقيقة وخفية فعلا ، مثل التزحزح الخفيف في مستويات الطاقة للالكترونات الذي يتسبب عن وجود الفوتونات الوسيطة • وفي بعض هذه التأثيرات ، يجب الأخذ في الاعتبار تبادل أكثر من فوتون • وقد أجريت تجارب معقدة أكدت هذه التأثيرات بدقة مذهلة ، وقد وصلت الدقة الى واحد في عشرة البلايين ، وتوافقت تماما مع النظرية • هذا النجاح المذهل خول لنظرية المجالات الكمية أن توصف بأنها من أنجح نظريات العلم •

### شبكة من الوسطاء

ان ما نظنه فراغا ساكنا هو في الواقع خضم مزدحم بالوسطاء من الجسيمات التقديرية تنقل بلا كلل • ودرجة نشاط هذا التزاحم تعتمد

على القوة محل الاعتبار . فالقوى القوية تكون مصدرا لنشاط محموم . أما الواهنة فالنشاط المتولد عنها أقل . ولو لم تكن هذه الشبكة من التبادل بين الوسطاء ، لما أحس جسم من المادة بالآخر ، ولما تم أى تفاعل على الإطلاق . فلولاها لانطلق كل جسم مادي على رسله في الفضاء ، في مسار لا يعرف الحيدود ، منعزلا في الكون بلا هدف أو غرض . لم يكن للأشياء المركبة أن توجد ، حيث لم تكن لتوجد قوى تربط بينها .

وقد مدت الفكرة وراء النظرية المجالية الكمية ، تبادل الجسيمات الوسيطة ، بنجاح للوصف الكمى للقوتين النووية القوية والضعيفة ، فكل منهما له مجاله المصاحب له ، والذي يمكن وصفه عن طريق جسيمات وسيطة مشابهة للفوتون . فالجسيمات الوسيطة للقوة النووية الضعيفة رغم توقعها نظريا من فترة طويلة لم يتم اكتشافها حتى ١٩٨٣ ، ورمز لها بالحرفين  $W, Z$  . ولكن الأمر مع القوة الشديدة فمعقد نسبيا . فجسيمات النواة من بروتون ونيوترون قد علم الآن أنها جسيمات مركبة . كل منها من ثلاثة جسيمات تسمى كواركات  $quarks$  . والكواركات مترابطة بقوة لا يتوصل إليها الا بثمانية جسيمات وسيطة على الأقل ، أطلق عليها اسم جلونات  $gluon$  . والقوة التي تترايط بها البروتونات والنيوترونات داخل النواة هي صورة مخفضة من القوة التي تترايط بها الكواركات .

وكان الوصف المتماثل للقوى الثلاث عن طريق تبادل الجسيمات الوسيطة مشجعا على التفكير في النظر إليها نظرة توحيدية . وقد اقتنع العلماء الآن بأن القوتين الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة هما وجهان لقوة واحدة هي « القوة الكهروضعيفة  $electroweak$  force (٢) » . ومتابعة لهذا النجاح ، بدأ توحيد القوة النووية الشديدة مع القوة « الكهروضعيفة » ، أو « القوة الموحدة العظمى  $grand unified force$  » أمرا قريبا الاحتمال . ورغم أن أدلة دامغة على وجود هذه القوة لم تظهر بعد ، فان نظريات عديدة قد ظهرت لصهر هذه القوى الثلاث في بوتقة واحدة .

وبذلك تترك الجاذبية منعزلة . فلضمها لهذا الخضم ، والوصول الى توحيد تام للقوى في قوة فائقة ، يجب أن تصاغ الجاذبية صياغة كمية . وكما ذكرنا من قبل ، فالنظرية الكمية ظهرت حين اكتشف أن الموجات الكهرومغناطيسية تنطلق على هيئة كمات محددة ، وهي الفوتونات ، ومن ثم فمن المتصور أن تكون موجات الجاذبية على نفس الشاكلة ، وقد سميت كماتها « جرافيتونات  $gravitons$  » . ولم تزل هذه الجسيمات افتراضية تماما ، بل في الواقع ليس من المحتمل أن يرى أثرها في القريب العاجل بصورة مباشرة ، ويجب على ذلك الاعتماد على النظريات لتبيان

خصائصها . وكما ذكرنا في الفصل السادس ، فموجات الجاذبية تنتقل بسرعة الضوء ، ولذا فمن المنطقي أن نتصور الجرافيتون ، كالفوتون ، منطلقا بسرعة الضوء . ولكن الى هنا وينقطع التشابه . ويمكن الفرق الجوهرى فى ضعف تفاعل الجرافيتون بالمادة . فشعاع منها له نفس الطاقة قوة والطول الموجى لشعاع من الليزر ( والذى هو صورة من الضوء ، أى شعاع من الفوتونات ) يخترق الأرض بأكملها دون أن يعاني اضمحلالا يذكر . والفرق الثانى هو أنه رغم أن تفاعل الجرافيتون مع المادة على هذه الدرجة من الوهن ، الا أن تفاعلها مع بعضها البعض قوى جدا . أما الفوتونات ، وهى التى تتفاعل بقوة مع الأجسام المشحونة ، فتفاعلها المتبادل ضعيف . فالأشعة من الفوتونات تمر عبر بعضها البعض دون تغيير ، بينما تتشتت الجرافيتونات بعيدا عن أمثالها . وكمثيل تصويرى، يمكن تخيل الفوتونات عمياء بالنسبة لغيرها من جنسها ، بينما الجرافيتونات فمبصرة لغيرها ، بما فيها الجرافيتونات الأخرى .

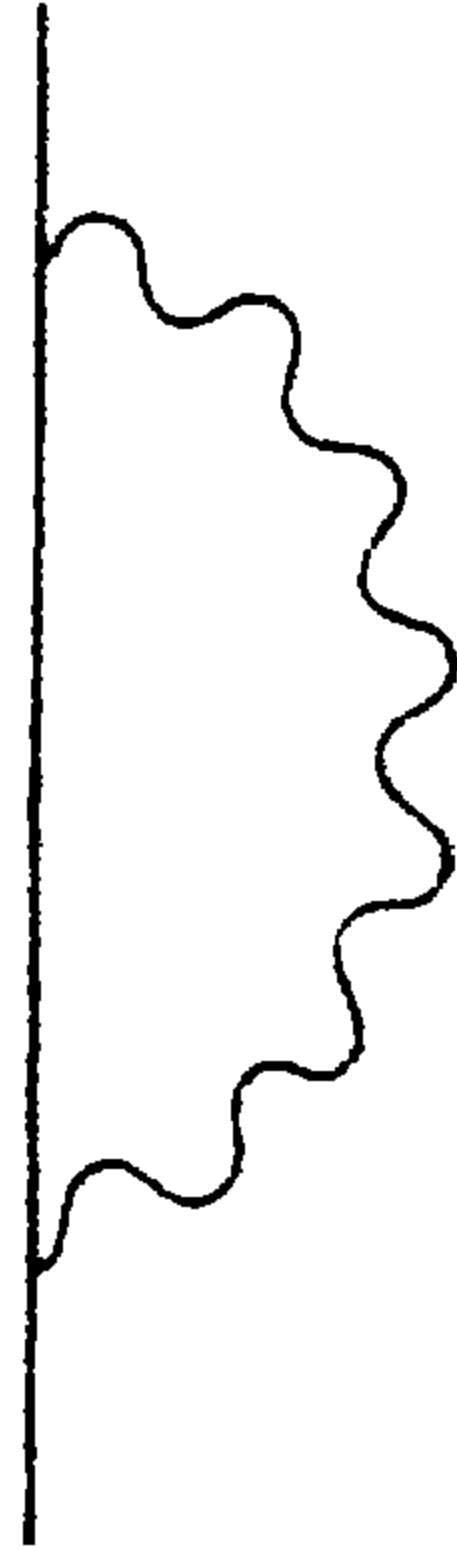
هذه الخصيصة من التفاعل المتبادل هى ممكن الصعوبة البالغة فى وضع صياغة كمية للجاذبية . فمثلا ، من الممكن أن يتبادل جرافيتونان ثالثا ، حتى وهما فى تبادل مع جسيمات المادة . ومن الواضح ما يجره هذا التبادل المتعدد من تعقيد رهيب ، أخذا فى الاعتبار مبدأ عدم اليقين الكمي .

فعدم اليقين الكمي يسمح لجسيم وسيط بالوجود اللحظى . وفى ميكانيكا الكم يأخذ عدم اليقين صياغة منضبطة ، فطاقة الجسيمات اللحظية الوجود تتناسب مع زمن بقائها ، بمعنى أن الجسيمات الأعلى طاقة هى الأقصر عمرا وعلى الدوام فحاصل ضرب المقدارين أقل من الحد الذى وضعته النظرية .

وبسبب هذا اللايقين ، يمكننا تصور الالكترتون كجسيم تحوم حوله سحابة من الفوتونات التقديرية مثل النحل حول خليتها . وكل فوتون ما أن يبت حتى يمتص مرة أخرى . والفوتونات الأقرب للالكترتون تكون ذات طاقة أعلى ، حيث انها لن تبتعد كثيرا عن مقرها . تخيل اذن الالكترتون مغمورا فى هذا الحشد من طاقات الكم سريعة الزوال ، عالية بالقرب منه ، ومتضائلة كلما ابتعدنا عنه . هذا الخضم المتأرجح من الفوتونات الفائرة النشاط هى بالضبط المجال الكهربى للالكترتون ، مصاغا بلغة الكم . فاذا ما دخل الكترتون آخر المعمة ، وامتنص أحد فوتونات الكترتون مجاور ، حدث التبادل وتولدت القوة بينهما على الوجه الذى ذكرناه آنفا .



أما إذا لم يوجد الكترون أو جسيم مشحون آخر ، فإن الفوتونات لا تجد لها مآلا سوى موطنها الأصلي ، ومن ثم يتفاعل الالكترون مع نفسه خلال سحابته الذاتية من الفوتونات ( الشكل ٣٩ ) .



الشكل (٣٩) : يمكن لالكترون منفرد ان يشع ويمتص فوتونات تقديرية ، وهذه العملية تقترب عليها مشاركة في طاقة ، ومن ثم كتلة ، الالكترون . وتشير الحسابات المباشرة الى ان تصحيح الكتلة نتيجة لذلك لا نهائية .

ويمكن حساب نشاط الفوتونات المحيطة بالالكترون . والاجابة ، مهما كانت اغاظتها لنا ، لا نهائية . والسبب في هذه النتيجة المجافية للمنطق ظاهريا ، مفهومة في الواقع تماما . فليس هناك حد نظري لمدى ما ترحله الفوتونات ، على صغر رحلتها ، وبالتالي لا حد لما يمكن أن تبلغه من طاقات .

### الاحتكاك باللامتناهى

يبدو من الوهلة الأولى أن النظرية برمتها غير معقولة . ولكن الأمر ليس كذلك . فبسبب أننا لا يمكننا أن نفصل الالكترونات عما يصاحبها من فوتونات ( لا يمكننا «اطفاء» الشحنات الكهربائية ) ، فانه ما من طريقة لعزل هذه الطاقة اللانهائية لمراقبتها . فما نراه حقا في المختبر ،

وما « تراه » الجسيمات الأخرى في الكون ، هو الطاقة المشتركة من الالكترين ولصيقاته من الفوتونات ، وهذه أساسا محدودة . أما الطاقة اللانهائية الذاتية للالكترون ، رغم أنها خصيصه مزعجه في النظرية ، فيمكن ببراءه التخلص منها بقسمة الطرفين على مقدار لا نهائى . ورغم أننا قد حذرنا خلال المرحلة الدراسيه من القسمة على اللانهائيه ، الا أنها اذا أجريت بحذر وتمكن رياضى فانها يمكن أن تؤدي لنتائج منطقية . ولإعطاء هذه الخطوة المشكوك فيها شكلا أكثر احتراما ، فقد أعطيت اسما طيب الجرس : « إعادة الاتساق ، أو إعادة الاستنظام renormalization »

وعودة الى موضوع الجاذبية الكمية ، فالمسألة متشابهة ، ولكنها أسوأ . فاللانهائية تظهر مع كل عملية مجالية كمية تتضمن حلقة مغلقة . ولأن الجرافيتونات يمكنها أن تتفاعل مع بعضها البعض ، فإن الحلقات المغلقة ذات صفة أكثر شمولية ، حلقات متداخلة في حلقات مثل عجلات داخل عجلات ، وعلينا أن نفترض أن كل جسيم محاط بعدد لا نهائى من الحلقات المعقدة . وكل مستوى من الحلقات يضيف لانهاية جديدة لحسابات ، بحيث انه كلما توغلنا في الحساب تراكمت اللانهائيات بلا نهاية .

فى الكهروديناميكية الكمية ، كانت الحيلة الأساسية هي قسمة طرفى المعادلة على ما لا نهاية . ونجحت الخطة لكونها يجب أن تجرى مرة واحدة . أما فى الجاذبية الكمية ، على النقيض ، فيجب أن تجرى العملية ما لا نهاية من المرات . والمغزى العملى من ذلك أن كل عملية حساب تقريبا تجرى باستخدام نظرية الجاذبية الكمية بهذه الطريقة تؤدي الى عدد لا نهائى من الاجابات . والنظرية بذلك ليست لها قوة تنبئية ، حيث لا يتمكن المرء من الحصول على قيمة ذات معنى محدد من بين هذه النتائج .

ومشكلة اللانهائيات معروفة منذ عقود من الزمان ، ومع ذلك فقد بدت اشارات منذ وقت قصير الى امكانية مواجهتها . وكانت الاشارة الاولى مستقاة ليس من معالجة الجاذبية ، بل من معالجة القوة الواهنة . فنظرية هذه القوة ظلت لسنوات مبتلاة باللانهائيات ، وتوقفت قيمتها عند حد أكثر التفاعلات بساطة ، حتى اكتشف ستيفان فاينبرج Steven Weinberg وعبد السلام ، كل على انفراد ، طريقة لعلاج المشكلة ، وكان الأسلوب المتبع يعتمد على مفهوم « التناظر symmetry » .

وقد لعب التناظر دوراً هاماً منذ وقت طويل ، فكثيراً ما يكون مرشداً في الطرق الوعرة . فلسبب لم يفهم بعد ( ولكن قد تكون له علاقة بالمصادفات الكونية . والتي جعلت كوننا مهياً لاستضافة الحياة ) ، تتوافق الطبيعة للمبادئ التي تسمح بحرية الاستخدام بصور متعددة من التناظر . فعلى سبيل المثال ، فإنه في حالة أكثر العمليات أساسية . لن تتغير القوانين الحاكمة للتفاعلات بين الجسيمات في « كون معكوس » يتبدل فيه اليمين لليسار أو العكس ( أى متماثل للشيء وصورته في المرآة ) . كما أن هذه القوانين لن تتغير إذا ما تبدل الماضي للمستقبل والعكس بالعكس . وهناك استثناءات لهذه القواعد ( أحد الاستثناءات يسمح بتكون بزيادة المادة على المادة المضادة أثناء الانفجار العظيم بنسبة جسيم لكل بليون جسيم ) ، ولكن بالنسبة للأعم الغالب في الحالات ، فنوانين الفيزياء متناظرة بالنسبة للانعكاس المكاني والزمانى .

وأغلب صور التناظر المهمة بالنسبة للفيزيائيين لها طبيعة أكثر تجريدية ، ليست متعلقة فقط بالمكان والزمان . وليس صعباً تخيل صور من التناظر التجريدى ، فأمامنا مثلاً التناظر بين الرجل والمرأة ، وبين الشحنات الموجبة والسالبة ، والقطين الشمالى والجنوبى للمغناطيس . فهناك تناظرات تجريدية تقدم روابط بسيطة بين كينونات تبدو مختلفة الطبيعة . وبتطبيق هذه التناظرات التجريدية على جسيمات العالم دون الذرى ، أمكن التعرف على أنماط لها لم تكن واضحة للوهلة الأولى .

والمثال المبسط لذلك هو البروتون والنيوترون ، البنية الأساسية لنواة الذرة . فهما من النظرة السطحية ، جسيمان متمايزان . البروتون جسيم مشحون ، والنيوترون متعادل ، وأثقل قليلاً . على أنه فى العديد من العمليات النووية يتصرف الجسيمات تصرفاً متماثلاً ، بحيث يمكن النظر للشحنة التي تميز أحدهما عن الآخر على أنها بطاقة هوية لا أكثر ولا أقل ، وليست خصيصة فيزيقية تميزه عن الآخر . ومن هذا المنطلق يمكن النظر لكلا الجسيمين كحالتين لجسيم أساسى ، كما أن الرجل والمرأة حالتان لجنس واحد . وبالسير قدماً فى هذا الاتجاه ، جمعت الأنواع المختلفة من الجسيمات دون الذرية فى أسر ، كل أسرة تمثل جسيماً أساسياً ذا عدة صور .

وباستغلال بعض من التناظرات التجريدية فى هيكل القوة الضعيفة، أمكن لفارينبرج وعبد السلام توحيدها مع القوة الكهرومغناطيسية ( والتي لها هيكل تناظرى مقارب ) وحل مشكلة اللانهايات فيها تماماً . وقد أظهر

هذا الفتح المبين أن مفتاح حل مشاكل اللانهايات فى نظرية المجالات الكمية يكمن فى وضع أكبر كمية ممكنة من التناظرات ، ثم البحث فى توحيد المجالات الكمية التى تمثل لذلك .

وفى محاولة رائدة لحل مشاكل النهايات فى الجاذبية الكمية ، انهمك الفيزيائيون فى السبعينيات فى وضع برنامج لاستغلال أقوى تناظر تم اكتشافه فى الطبيعة ، يعرف ( ولا غرابة فى ذلك ) بالتناظر الفائق supersymmetry . هذا التناظر يكمن فى فكرة « اللف Spin » . فجميع الجسيمات الأساسية فى الطبيعة لها خاصية كم معينة فى الدوران، تسمى اللف ، وتأتى دائما على صورة مضاعفات لقيمة أساسية .

ولأسباب تاريخية اتخذت هذه القيمة الأساسية مساوية للنصف . فالإلكترون والنيوترينو مثلا لهما قيمة لاف تساوى النصف . والفوتون له قيمة لاف تساوى الواحد ، والجرافيتون له وحدتان ، وليس يعرف فى الطبيعة جسيم له لاف يزيد عن اثنين ، وتذهب النظرية الى استحالة ذلك .

وتتحدد الخواص الأساسية للجسيمات الوسيطة بكتلتها ومعامل اللف لها معا ، وهو ما يميز الفروق بين القوى الأساسية الأربع فى الطبيعة . فكتلة الجسيم الوسيط تحدد مدى القوة الخاصة به ، كلما كبرت الكتلة صغر المدى . وإذا ما كان معامل اللف عددا زوجيا ( أو صفرا ) ، فإن القوة المصاحبة طبقا للنظرية تكون قوى جذب ، وإذا كان المعامل عددا فرديا ، فالقوة تنافرية .

وتستخدم الطبيعة جسيمات وسيطة ذات لاف واحد أو اثنين ، وكتلة صفر . وبدون كتلة ، يكون مدى الجسيم الكون بأكمله . فالفوتونات جسيمات ذات كتلة صفرية ، ولف واحد ، وهى بالفعل تمتد عبر الكون ، وهى مثل الشحنات المتماثلة ، تتنافر . وللجرافيتون كتلة صفرية أيضا ، ولف اثنين ، ومداه يشمل الكون ، كما أنه جاذب دائما ، كما توقعت النظرية . ويبدو أنه لا توجد قوة تستخدم وسيطا ذا كتلة صفرية ولف صفر ، ولكن النظرية يمكنها التنبؤ بطبيعتها لو وجدت ، فبى ستكون قوة جذب كالجاذبية ، ولكنها أبسط منها ، وليس بالضرورة أن تكون عامة بالنسبة لكافة الجسيمات فى الطبيعة .

وتتصرف الجلونات بصورة أكثر تعقيدا ، ورغم أن الأنواع الثمانية منها لها جميعا لاف واحد ، مثل الفوتون ، فهى بإمكانها التفاعل مع

بعضها البعض ، وهو ما يجعلها حبيسة ويحدد من مداها . أما القوة الضعيفة فتحدد مداها يرجع للكتلة ، فجسيمات  $W$  و  $Z$  أثقل من البروتون ثمانين مرة ، ومداها أقل من ١٠ - ١٥ سنتيمتر .

وعلى الرغم من أن هذا الوصف قد يبدو معقدا حين يعبر عنه بالكلمات ، فإن الطبيعة في الواقع تواجه تقييدا عجيبا في اختيارها للقوى الممكنة ، وكلما أظهرت المعادلات خيارا ما ، فإن الطبيعة تنزع للخيار الأكثر بساطة ، بمعنى أنه الخيار الذي يجسم التناظر .

وقبل ظهور التناظر الفائق ، عوملت الجسيمات المنتمية الى قيم مختلفة من اللف على أنها تنتمي لأسر مختلفة تماما . وعلى الأخص ، فكل الجسيمات التي معامل لهما عدد صحيح اتضح أنها حاملة للقوى ، أى جسيمات لمجالات كم ، كال فوتونات والجرافيتونات . أما الجسيمات ذات معامل اللف الكسرى كالالكترون ، فهي ما كنا ننظر اليها عادة على أنها جسيمات مادية « حقيقية » . وللتمييز بين الطائفتين ، سميت الطائفة الأولى « بوزونات bosons » ، والثانية « فرميونات fermions » . وليس هناك من تباين أوضح من ذلك ، ولا يوجد وجه للتناظر معروف بين خواص البوزونات والفرميونات . وجاء التناظر الفائق ليغير من كل ذلك ، بتقديم وسيلة رياضية للربط بين جسيمات ذات لف مختلف في صف واحد . ومعنى ذلك أنه يمكن البحث عن قوانين للفيزياء تتجاوز عائق اللف ، وتوحد بين الجسيمات ذات اللف المختلف في أسرة علوية Superfamily بخواص متقاربة . وعلى وجه الخصوص ، فهو يفترض تناظرا خفيا بين الجسيمات حاملة القوى والجسيمات المادية .

ويتطلب التناظر الفائق أن يكون لكل نوع من الجسيمات في عائلة مجال الكم ( وليس كل جسيم ) نظير ذو لف معاكس . وحيث أنه ما من جسيم « وسيط » معروف يترافق مع جسيم مادي معروف ، فإن ذلك يتطلب وجود بعض جسيمات الكم لم تكتشف بعد ، ولم يتوقع وجودها أحد من قبل . ومن الممكن اعطاء تشبيه مقارب بين وجود عائلتين من جسيمات المادة ، المادة ونقيضها . وكان اكتشاف النقيض للالكترون (البوزيترون) مدعاة لافتراض وجود نقيض للنيوترون ونقيض للبروتون ، للحفاظ على التناظر . وفي التناظر الفائق ، فكل نوع من جسيمات المادة أو جسيمات المجال يجب أن يكون له نقيض بلف مختلف ، لم يكتشف بعد . وكان اكتشاف جسيم واحد من شأنه أن يوحى بوجود الأسرة ( أو الأسر ) بأكملها ، مع فائدة اضافية تتمثل في أن الحسابات الرياضية

لخواص الجسيمات المفترضة تبين أن بعضا منها هي بالضبط ما يتطلب لوجود المادة السوداء في الكون . ولكن الى الآن ليس من دليل قاطع على وجود نظير فائق لأي جسيم معروف .

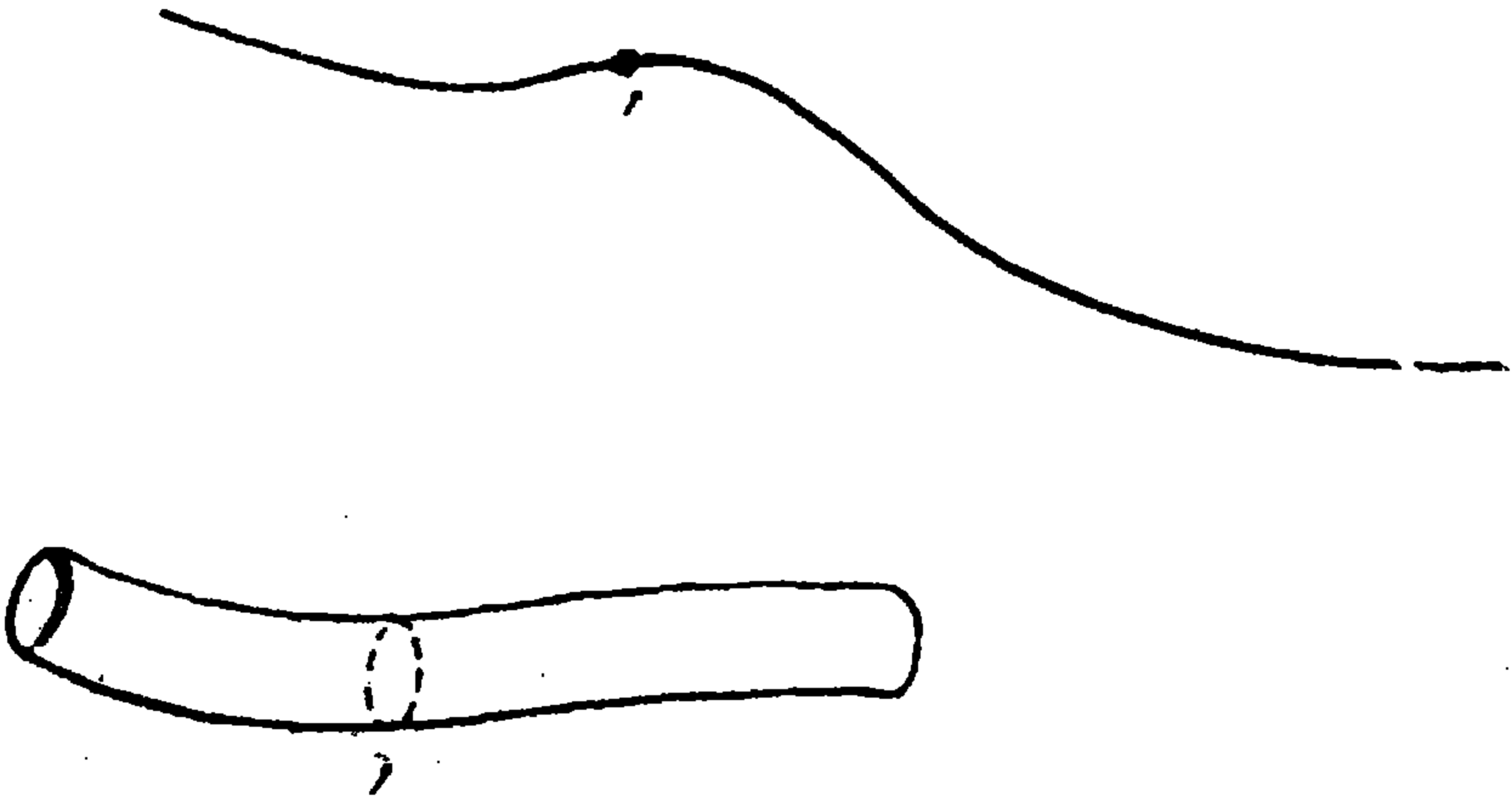
ولكن كيف سيحل ذلك مشكلة النهايات في جاذبية الكم ؟ ان الجرافيتون ، والذي افترض سابقا أنه الوحيد الذي يحمل قوة الجاذبية، يتطلب له من وجهة نظر التناظر الفائق وجود جسيمات حاملة للجاذبية تسمى « جرافيتينو gravitino » لكل جسيم لف مقداره واحد ونصف . ووجود الجرافيتينو سيكون له أثر بالغ على مشكلة النهايات . وبعبارة فضفاضة ، فان حلقات الجرافيتينو تكون في صورة سالبة ، منتجة لا نهايات سالبة ، تعمل بسبب علاقة التناظر على الغاء النهايات الموجبة للجرافيتون . وحيث أننا ليس لنا بالمرّة فسم عرى الجسيمين ، فان تأثيرهما يجب أن يؤخذ ككل لا يتجزأ ، وهو ما يسمى عادة « الجاذبية الفائقة supergravity » .

### أبعاد أخرى للفضاء

لفترة في أواخر السبعينيات وأوائل الثمانينيات ، بدا أن التناظر الفائق يمهّد الطريق لنظرية متناسقة عن الجاذبية في مضمار ميكانيكا الكم ، ولكن اكتشف بعد ذلك أنه يفشل مع زيادة عدد اللانهايات . ولم تدم العثرة طويلا ، حيث ان أسلوبا جديدا بالمرّة لحل المشكلة كان قيد البحث بالفعل : إمكانية توحيد قوة الجاذبية مع قوى الطبيعة الأخرى في نظرية متناسقة رياضيا اذا ما اعترف بوجود أبعاد اضافية للكون .

وقصة وجود أبعاد أكثر من ثلاثة للكون لها تاريخ طويل . فبعد طرح النظرية النسبية العامة بوقت طويل ، حين لم يكن معروفا سوى قوتين أساسيتين في الطبيعة ، الجاذبية والكهرومغناطيسية ، قدم رياضي ألماني يدعى تيودور كالوزا Theodor Kaluza ، طريقة لوصف الكهرومغناطيسية بطريقة هندسية ، وبين أن المجال الكهرومغناطيسي يمكن النظر اليه كالتواء في الفضاء ، ولكن ليس الفضاء العادي ثلاثي الأبعاد الذي تدركه أحاسيسنا ، بل فضاء ذو بعد رابع ، لسبب ما لا ندركه . ولو صح ذلك ، فانه بإمكاننا تصور الموجات الكهرومغناطيسية والضوئية كاهتزازات في البعد الرابع للفضاء . ولو أننا أعدنا صياغة نظرية الجاذبية لاينشتين ذات الأبعاد الأربعة لتضم هذا البعد الرابع للفضاء ، لكون المجموع خمسا ، فانها ستضم كلا من الجاذبية ومعادلات ماكسويل للكهرومغناطيسية . وعلى ذلك ، فان الجاذبية والكهرومغناطيسية ، منظورا اليهما من البعد الرابع ، سيكونان أشبه بجاذبية ذات خمسة أبعاد .

وتلقف فيزيقي سويدي فكرة كالورا ، هو أوسكار كلاين Oskar Klein ، وبين لماذا لا يمكننا ادراك البعد الرابع للفضاء . فقد ذهب الى أن البعد الرابع للفضاء « مطوي » بصورة ما فلا نشعر به . فبالضبط كما تلوح لنا أنبوبة على البعد كخييط وحيد البعد . رغم أنها في الحقيقة أسطوانية الشكل ، كذلك فإن الفضاء رباعي الأبعاد يمكن تصويره كأنبوبة عظمى hypertube ( الشكل ٤٠ ) . فما تعارفنا على اعتبارها نقاطا لا حجم لها ولا هيكل في الفضاء ثلاثي الأبعاد ، يمكن أن نتصورها كدوائر دقيقة في الفضاء رباعي الأبعاد . بل وقد قامت النظرية بحساب محيط تلك الدائرة ، مبنيا على القيمة المعروفة للوحدة الأساسية للشحنة الكهربائية ، فكان أقل من بليون مرة قطر نواة الذرة ، ومن ثم فلا عجب في عدم إحساسنا بالبعد الرابع .



الشكل (٤٠) : ما يبدو على البعد أنه خط ذو بعد واحد يتبين بالتمحيص أنه أنبوب ذو بعدين . وكل « نقطة » على الخط هي في الواقع دائرة صغيرة تحيط بالأنبوب . وبمنفس الطريقة ، ما نحسبه نقطة في الفضاء قد يتضح أنه دائرة صغيرة « تحيط » بالبعد الرابع .

وحازت نظرية كالوزا - كلاين شيئا من الفضول العلمي لعنة عقود . ومع اكتشاف القوتين الضعيفة والشديدة ، الحسر انضوء عن نظرية توحد قوتين من قوى الطبيعة متجاهلة الآخرين . ثم عادت فكرة وجود أبعاد إضافية للكون للظهور في أوائل الثمانينات . وفي الصورة الجديدة من النظرية ، أعطيت كل قوى الطبيعة منشأ هندسيا . والسبب في أن العلماء استغرقوا كل هذا الوقت لاتخاذ هذه الخطوة المنطقية من تعميم نظرية كالوزا - كلاين هو أن القوة الكهرومغناطيسية لبساطتها لم

تحتج الا لبعء واحد اضافى لاحتوائها فى ذلك التصور ، بينما احتاجت كل من القوتين الاخرين لعدد من الأبعاد أكثر ، بسبب تعقدتهما . قلاحتواء كافة خصائص القوى الأربع ، نحتاج لعشرة أبعاد فضائية بالاضافة للبعء الزمى .

وتسبب هذا التزايد فى الأبعاد الكونية فى تصعيب مسألة تصورهما . فمن المهم أن نتصور لها شكلا من الطى ، لتبرير عدم ادراكنا لها ، ولكن الطرق متعددة لتصور ذلك . فبعدان فضائيان مثلا يمكن تجميعهما فى كرة أو حلقة أسطوانية . ومع المزيد من الأبعاد نزداد الامكانيات ، وتزداد صعوبة التصور . وفى أحد النماذج الواعدة بأحد عشر بعدا أضيف للزمان ذى الأبعاد الأربعة المعتادة ، سبعة أبعاد متجمعة فيما يقابل كرة سباعية الأبعاد . وكان هذا هو أكثر التشكيلات بساطة وتناظرا . وكانت الكرة سباعية الأبعاد محبذة لدى العلماء لبساطه خواصها الهندسية ، والتي كانت قد اكتشفت بواسطة علماء رياضيات منذ عقود ، لسنوات قبل أن يطرح ملائمة كينونة كهذه لعلم الفيزياء على بساط البحث .

واتضح أن الجاذبية الفائقة تتناسب مع هذا الفكر تماما ، فأبسط صياغة رياضية لها تضمنت بالضبط أحد عشر بعدا . بمعنى أن التناظرات العديدة فى الأبعاد الأربعة اختصرت جميعها لتناظر طبيعى وحيد وبسيط فى رياضيات الأبعاد الأحد عشر . وعلى ذلك ، فلو أن المرء بدأ من النسبية العامة ووصفها للقوى كانهاء فى الزمكان ، أو بدأ من النظرية الكمية وتصويرها للقوى بمفهوم الجسيمات الوسيطة ، فيبدو أنه مقاد الى تناظر ذى أحد عشر بعدا .

ومع كل ما فى هذه الأفكار من وجهة واغراء ، فقد ظل شبح اللاتناسق الرياضى مخيما . وتمثلت إحدى الصعوبات فى قضية اللف . فلكى تتضمن النظرية جسيمات ذات لاف ، كان المفروض أن يكون عدد أبعاد الفضاء مع الزمن زوجيا ، لا فرديا كأحد عشر . وبينما العلماء يكدحون فى مواجهة هذه المعضلة ، برزت للضوء فكرة واعدة جديدة ، تتضمن المفهوم الشائع للتناظر الفائق ، والأبعاد المتعددة ، وشيئا آخر أيضا .

### هل الانقاذ فى الأوتار ؟

ان مكن الصعوبة فى أية محاولة لتوحيد قوى الطبيعة هو شبح اللانهايات الذى يهدد بتدمير القوة التنبئية لأية نظرية . ولتتذكر أن



هذه اللانهايات تنشأ من كون الجسيمات الوسيطة تتكلس كلما زادت طاقاتها أقرب وأقرب حول الجسيم المادى . وتنشأ اللانهاية لأنه يوجد حد لمدى اقتراب الجسيم الوسيط من الجسيم المادى المترابط معه ، ذلك لأن الجسيم المادى ينظر اليه تقليدياً - كنقطة هندسية لا أبعاد لها ، وتنتج اللانهاية من حاصل قسمة الطاقة على الحجم الصفرى لهذه النقطة الهندسية . فلو أنه نظر للجسيم المادى كشئ ذى بعد معين ، فإن المشكلة ستختفى فى الحال .

وترجع محاولات معاملة الالكترون ككرة لا نقطة هندسية لقرن مضى تقريباً . ولم تقبل هذه الأفكار لعدم اتساقها مع النسبية . أما وجه الجدة فى الأفكار الحديثة فهي أن الجسيمات مدت فى الفضاء فى بعد واحد فقط . فهي ليست نقاطاً هندسية ، ولا تكورات من المادة ، بل أوتاراً ذات قطر متناه فى الصغر .

وينظر لهذه الأوتار على أنها اللبنة الأساسية للكون ، حالة محل فكرة الجسيمات التقليدية ، ولكنها تتشابه مع الجسيمات فى قدرتها على التحرك ، ولكنها تحوز درجة من الحرية أوسع ، اذ بإمكانها بجانب الحركة ، أن تتلوى .

فى أوائل السبعينيات ، كان نجاح نمذجة سلوك المواد النووية باستخدام مفهوم الأوتار محدوداً . وقد بدا فى كثير من الأحوال أن الجسيمات النووية تسلك مثل الأوتار المتموجة . ولكن كانت هناك صعوبات أيضاً ، فقد بينت الحسابات أن تلك الأوتار تتحرك أسرع من سرعة الضوء ، وهو ما تحرمه النسبية . ولمدة بدت النظرية محتوماً عليها الفشل . أما ما حفظ على النظرية بقاءها فكان احتواءها على التناظر الفائق ، فـ « الأوتار الفائقة » كانت حسن السلوك بالفعل .

ثم برزت صعوبة أخرى . فالصياغة النظرية لهذه الأوتار حسنة السلوك بدا أنها تحتوى على جسيم ليس له محل فى الأسرة المعروفة من الجسيمات ، ذى لف قيمته اثنان ، وكتلة صفرية ، ومن ثم فله سرعة الضوء . ولم يكن مثل هذا الجسيم معروفاً فى العمليات النووية ، وبالإضافة لوصف الجسيمات والقوى المألوفة ، كانت نظرية الأوتار تحاول أن تصف شيئاً غير متوقع بالمرّة ، لم يقصد المنظرون تضمينه فيها . ولكن الجسيم منعدم الكتلة ذا معامل اللف اثنين ، رغم أنه لم يكن متوقفاً فى هذا السياق ، معروف جيداً تحت اسم جرافيتون ،

وسريعا ما تطورت نظرية الأوتار الى نظرية جاذبية . وحين مزج ذلك بأفكار التناظر الفائق ، اقترحت كينونة جديدة ، هي الأوتار الفائقة .

وأصبح واضحا على الفور أن الأوتار الفائقة لها خواص متميزة تعد بمحو كل اللانهايات المزعجة التي صاحبت نظريات الجسيمات التقليدية . فعند مقادير الطاقة الدنيا تتجول الأوتار كما لو كانت جسيمات عادية ، وتتقصر كافة الخصائص التي وصفتها النظريات التقليدية لعقود خلت . ومع ارتفاع قيم الطاقة بما يسمح بظهور شأن القوى التجاذبية ، تبدأ الأوتار فى التمعج ، وبالتالي تغير من السلوك عند الطاقات العالية بصورة جذرية وبطريقة تمحو أى تواجد لللانهايات .

وفى احدى صياغات النظرية تتكون الأوتار (زمكان) من عشرة أبعاد ، وفى صياغة أخرى ، تطلب الأمر ستة وعشرين بعدا . وتضمنت نظرية الأبعاد العشرة اللف بلا مشاكل . وكما فى نظرية كالوزا - كلاين . كبست الأبعاد الاضافية الى حجم غاية فى الضالة . ورغم أن هذه الأبعاد الاضافية غير قابلة للرؤية مباشرة ، إلا أنه من المغرى أن يتفكر المرء ان كان من الممكن الاحساس بأثرها بصورة أو بأخرى . وكما رأينا ، يربط علماء فيزياء الكم بين المسافة والطاقة . فلكى نسبر غور المسافة لجزء من بليون بليون جزء من قطر نواة الذرة ، نحتاج الى طاقة أعلى من طاقة النواة بنفس النسبة . وليس من مكان يتصور أن يتواجد فى طاقة بهذا المستوى الا فى الانفجار العظيم ، والذي - لو صحت هذه الأفكار - تكون العمليات أثناءه متضمنة أبعادا متعددة بصفة أساسية . ومن الاحتمالات المشيرة أن تكون كافة أبعاد الفضاء فى البداية على قدم المساواة ، وأن قاطنى الكون البدائى ، من جسيمات أولية ، قد عايشت تلك الأبعاد المتعددة . وحدث التطور بعد ذلك . ثلاثة من تلك الأبعاد ابتلعت سريعا خلال التضخم لتكون الكون الحالى ، بينما توارت الأبعاد الأخرى عن الأنظار ، تعبر عن وجودها ليس كفضاء ولكن كخواص كامنة فى الجسيمات والقوى . وتظل الجاذبية اذن القوة الوحيدة المصاحبة لهندسة الفضاء والزمن كما نتصور الآن تماما ، ولكن كل القوى والجسيمات ، بصريح العبارة ، ذات أصل هندسى .

ولا تتحرك الأوتار على استقلال ، بل يمكنها أن تتفاعل فيما بينها ، متنسبة فى أن تتواصل أو تنقسم . وفى الواقع ، فإن سلوك مجموعة من الأوتار أمر بالغ التعقيد ، وبالكاد بدأ - بصورة لم تزل مبهمة - فهم القواعد الحاكمة لأنشطتها . ويمكن أن تكون الأوتار مفتوحة ، مهتزة

الطرفين ، او حلقيه ، وهى الواعدة بدرجة أكبر ، والتي تحوى أغلب النناظرات التى ظهرت ( أو دخلت ) فى نظريات التوحيد العظمى ( المسماة رياضيا بالاسم الكودى  $E_8$  ) ، مضافا اليها الجاذبية الفائقة أيضا .

وفى الواقع ، فان التناظر الكامل فى هذه الصورة من النظرية يحتوى فى الحقيقة على  $E_8$  لمرتين ، فى مجموعة يطلق عليها  $E_8 \times E_8$  وقد اتجه بعض المنظرين الى افتراض أن هذا الازدواج يعنى وجود كون مرافق لكوننا ، عالم ظلى مسكون بمادة شبيهة بمادتنا ، ولكنها لا تتفاعل مع مادة كوننا الا من خلال الجاذبية .

وأما عن الشعور بذلك العالم الظلى الذى يتغلغل خلال عالمنا ، فانه من الممكن أن تخترق شخصا مخلوقا من مادته دون أن تحس بذلك . ذلك لأن الجاذبية المرتبطة بالأجساد البشرية ضعيفة للغاية . أما لو حدث وعبر كوكب مجموعتنا الشمسية ، فهو قادر على دفع الكرة الأرضية بعيدا عن مدارها ، ولو تم شئ من ذلك فسيكون أمرا عجبا ، حيث ان المسبب لذلك لن يكون مرئيا ، كما لو كانت الأرض قد وقعت فى قبضة رهيبة خفية تدفعها دفعا .

وفيما وراء المجموعة الشمسية يمكن تصور مجرات ظلية ، بل وثقوب سوداء ظلية . ولما كانت الثقوب السوداء كينونات جاذبية صرفة ، فانها لن تكون متميزة عن ثقوب كوننا السوداء . ومع ذلك ، فلو كان هناك عالم ظلى يحوم حولنا ، فانه سوف يساعد على الكشف عن وجود المادة السوداء . ولكن هذه الافتراضات المتطرفة هى على هامش نظرية الأوتار الفائقة . فأهمية النظرية لدى الفيزيائيين ليست فى تفسير المادة السوداء ، بقدر ما هى فى تفسير توحيد القوى .

### حين تتوحد القوى

ما زال الوقت مبكرا لمعرفة ما اذا كانت نظرية الأوتار الفائقة (٣) بمقدورها أن تعيد صياغة الفيزياء كما نعرفها ، وفى نفس الوقت تتلاشى اللانهايات التى تصيب نظريات التوحيد الأخرى . ولكن الظواهر الى الآن مبشرة ، حتى لو كان من المحتمل أن بعضا من تنبؤاتها الغريبة حرة بأن تسقط خلال اقامة النظرية على قواعد أرسخ . ومهما كانت صورة حل المسألة ، فانه حتى النظريات القائمة تفسح مجالا لأمثلة أخرى من غرائب الكون الكمي ، بما فى ذلك تصرفات الجسيمات الوسيطة فى الشبكة الكونية .

وتتضمن نظريات التوحيد الكبرى اندماج القوى المختلفة فى هوية واحدة . كما أنها تتضمن توحيد الصور المختلفة من المادة فى هوية واحدة . والجسيمات المعتادة تقع فى مجموعتين ، الالكترونات والكواركات . والتميز الجوهرى بينهما هو أن الكواركات فقط هى التى تستجيب للقوة النووية الشديدة المحمولة بواسطة الجلونات ، بينما تعمل القوة الكهروضعيفة على النوعين . ولكن القوة الموحدة العظمى تفشل ، بحكم طبيعتها ، فى التمييز بين الكواركات واللبتونات ، حيث ان ذلك يتطلب خواص من كلتا القوتين .

وتفترض الحسابات أن القوة الموحدة العظمى محمولة بواسطة جسيم وسيط أعطى اسما كوديا  $X$  ، يملك كتلة هائلة ، نمطيا جزء من مليون جزء من الجرام ، وهى هائلة لأنها أثقل من البروتون بمليون بليون ( ١٥١٠ ) مرة . وبفضل عدم اليقين الكم ، فان هذا الجسيم لا يظل الا لفترة جد وجيزة ( تذكر أن فترة البقاء للجسيم التقديرى تقل مع زيادة كتلته ) ، ومن ثم فله مدى جد محدود . وعلى ذلك ، فهذا الجسيم الشبحى يمكنه الظهور الفجائى ، حتى بداخل البروتون ، ولكن لا يظل الا لفترة ١٠ - ٣٥ ثانية تقريبا ، وبذا لا ينتقل الا لمسافة ١٠ - ٢٥ من السنتيمتر ، والى جزء من تريليون جزء من قطر البروتون ، قبل أن يعيد الطاقة التى اقترضها من الفراغ التقديرى . ولما كان البروتون يحتوى على ثلاثة كواركات ، فانه من غير المتصور أن يتلاقى أى منها مع الآخر فى تلك الفترة الوجيزة . الا أن الاحتمال الغاية فى الضآلة ، بأن يقترب كواركان لتلك المسافة الضئيلة ، ليس مستبعدا ، حتى وان كان احتمالا يماثل صدام نحلتين فى حظيرة طائرات .

ولتقريب هذا المثال من الدقة ، نقول انها فرصة تصادم نحلتين من ثلاث نحل فى حظيرة طولها عشرة ملايين كيلو متر . وحين يتحقق ذلك اللقاء البعيد الاحتمال ، فانه يمكن تبادل جسيم  $X$  بينهما ، وهى عملية ذات أثر له خطر عظيم . فالكواركان المتفاعلان معا سيتحولان الى كواركين مضادين ، بالاضافة الى بوزيترون .

وحين يتم ذلك التحول داخل البروتون ، فان البوزيترون يلفظ ، بينما يتحول الكوارك الثالث ، مع الكواركين المتضادين ، الى جسيم يعرف بـ « بيون  $\pi$  » . وبعد جزء من ثانية ، ينحل البيون ذاته الى البروتونات بالطريقة المذكورة ، فان لقاء الالكترونات بالبوزيترونات معنى ذلك هو أن المادة بأسرها غير مستقرة ، ولن تدوم للأبد . فنظريات

النوحيد العظمى كما تقدم آلية ظهور المادة ، تقدم أيضا بذور فنائها .  
وكل بروتون في الكون قد ولد متزاوجا مع الكترون ، وحين تنحل  
البروتونات بالطريقة المذكورة ، فان لقاء الالكترونات بالبوزيترونات  
يصبح أمرا حتميا ، فيتفانيان ، وهو ما ينذر بفناء تام للمادة (٤) . ولكن  
لا تفزع دون داع ، فالنظرية نم تتأكد نهائيا بعد ، وحتى لو تم ذلك ،  
فاحتمال انحلال البروتون يتطلب فترة لا تقل عن ١٠<sup>٢٢</sup> سنة .

كيف يمكن مشاهدة عملية بهذا القدر من ندرة الاحتمال معمليا ؟  
الطريقة الوحيدة ، كما ذكرنا في الفصل السابع عن انحلال ألفا ، هو  
مراقبة عدد كبير جدا من البروتونات لفترة طويلة . فمراقبة ٢٢١٠  
بروتونا يؤدي لاحتمال انحلال واحد منها خلال سنة . وقد أعلن فريق  
بحث هندي في أوائل الثمانينيات ، أثناء مراقبة مائة طن من الحديد  
بكاشفات غاية في الدقة عن اكتشاف حدث من هذا القبيل ، ولكن غالب  
الظن أنهم كانوا مخطئين .

وعلى الرغم من عدم ملاحظة انحلال البروتون بصورة مباشرة ، فان  
أغلب الفيزيائيين يعتقدون أن قوى الطبيعة لها بالفعل أصل مشترك على  
مستوى ملائم من العمق . وقد تركزت كل المجهودات في العشرين عاما  
الماضية في اتجاه التوحيد ، وإيجاد روابط ما بين الخصائص المختلفة  
للحقيقة . فهناك احساس متعاظم بأن الكون الفيزيائي يحتوى على رابطة  
لا تضم فحسب الجسيمات المتشابهة في أماكن مختلفة ، ولكن أيضا  
الجسيمات والقوى المختلفة . وفي النهاية ، يمكن للمرء أن يتوقع أن  
الجسيمات المختلفة ، ومجالات القوى ، والفضاء ، والزمن ، وأصل الكون ،  
هي عناصر من كل ، متضمن في نظام رياضى . ويرى بعض المتفائلين ،  
من أمثال ستيفن هوكنج ، أن الهدف على مرمى البصر . ولو كان الأمر  
كذلك ، فان تحويل الساعة النيوتونية المنضبطة الى شبكة كونية لم  
يتطلب الا مجرد ثلاثة قرون . ولكن اذا بدت المهمة يسيرة ، فانه بإمكاننا  
أخذ فكرة عن أثر الالتواء النهائى للزمن والفضاء من أحد أعاجيب الكون ،  
الثقوب السوداء .

## هوامش الفصل الثامن

- (١) حاز كل من فايمان وتوماناجا وشفينجر على جائزة نوبل عام ١٩٥٦ على وضع هذه النظرية - ( المترجم ) •
- (٢) حاز عن اكتشاف هذه القوة كل من جلاشو ، عبد السلام ، واينبرج على جائزة نوبل عام ١٩٧٩ - ( المترجم ) •
- (٣) للمزيد عن نظرية الأوتار الفائقة ، نقترح كتاب « ما بعد أينشتاين » ، ترجمة الدكتور فايز فوق العادة ، الناشر « أكاديميا » - ( المترجم ) •
- (٤) النيوترون أيضا جسيم غير مستقر اذا وجد حرا ، اذ ينحل الى بروتون والكترون •

## الفصل التاسع

### ما وراء المستقبل اللامتناهى

لدى أغلب الناس خوف فطرى من الأماكن المتسعة ، وهو شعور بدائى يرجع غالبا لعصر الأجداد الذين أفزعتهم فكرة الفضاء اللانهائى ، ففضلوا الاعتقاد فى كون محتوى فى طبقات متحدة المركز . حتى فكرة الفراغ بين الذرات أثارت قدرا من عدم الارتياح . فكثير من الفلاسفة الاغريق انفعلوا بعنف ضد فكرة القائلين بذرات تتكون منها المادة وتحوم فى الفراغ ، وقد اتخذ هذا الاحساس شعارا له فى المقولة : « ان الطبيعة تمقت الفراغ » . وحتى ديكارت أعلن : « الفراغ بغيض للمنطق » . بل وحتى مطلع القرن العشرين لم نعدم عالما ذا شأن مثل ماخ يقف ضد فكرة الذرة لحساب فكرة المادة المتصلة بلا تجزئة . ويبدو أن الفزع من الفراغ يثير خوفا متأصلا فى النفس البشرية . فلا عجب اذن أن يملأ الناس احساس بالوجل المشوب بالرهبة لما أثير فى الآونة الأخيرة من امكانية ابتلاع الفراغ لهم .

ويعتبر كتاب جون تايلور John Taylor « الثقوب السوداء » المنشور عام ١٩٧٣ من أكثر الكتب العلمية انتشارا على الإطلاق . وعلى الرغم من أن فكرة وجود ثقب سوداء فى الفضاء كانت تتشكل فى أذهان العلماء لردح من الزمن ، إلا أنها لم تأخذ هذا الاسم المثير إلا فى أواخر الستينيات ، ولم تحز اهتمام العامة إلا فى السبعينيات . وقد سوغت الخصائص الغامضة والرهيبة لتلك الكينونات لها اهتماما فوريا وضمن لها مكانا راسخا فى مفردات اللغة . فمن المؤلف فى أيامنا هذه أن تقرأ عن ثقب أسود فى مركز مجرة منهمك فى التهام ما حوله من مكونات الكون . ولكنها منذ ربع قرن لم تكن سوى افتراض مبهم .

وتتكون الثقوب السوداء حين تنشط قوة الجاذبية ، أوهى قوى الطبيعة ، لتسيده الموقف . ويسمح لهذه القوة أن تتزايد بلا حد الى درجة انها تمارس تأثيرها الجذبى على مدى الكون على رحابته . فبقية القوى محدودة : فالقوتان النوويتان مقصورتان على البعد النووى ، والقوة الكهرومغناطيسية تدور بين الجذب والتنافر بما يجعل تأثيرها يلغى بعضه بعضا . لكن استمر فى زيادة المادة لجرم ما ، وستجد أن تأثيره يتزايد بلا حد .

ولا تعتمد الجاذبية لجسم ما عند سطحه على كتلته فقط ، بل أيضا على حجمه . فمثلا ، لو أن الأرض ضغطت لنصف قطرها الحالى ، لكان وزن كل منا أربعة أمثاله الآن . ذلك لأن الجاذبية تتبع قانون التربيع العكسى ، فتزداد مع نقص المسافة . وزيادة الجاذبية تجعل مسألة الفرار من الأرض أصعب . فمع حجم الأرض الحالى تصل السرعة المطلوبة للانطلاق فى الفضاء والتحرر من جاذبيتها أحد عشر كيلو مترا فى الثانية الواحدة ، وهو ما يطلق عليه « سرعة الافلات » . وتصل هذه السرعة للأرض المنضغطة لنصف حجمها أكبر من السرعة الحالية بما يقارب واحدا وأربعين فى المائة .

### اعتقال الضوء

لو أن الأرض استمرت فى تقلصها مع الحفاظ على كتلتها ، فسوف تتزايد الجاذبية عند السطح ومعها سرعة الافلات بلا حد . وحين تصل الأرض لحجم حبة فاصوليا ، تصل سرعة الافلات لسرعة الضوء . هذا الحجم يعتبر حجما حرجا ، فهو يعنى أن جسما كهذا لا يمكن أن يصدر ضوءا ، ومن الوجهة الواقعية تختفى الأرض ، وتصبح من وجهة نظر المشاهد لها ، سوداء تماما . والغريب أن فكرة وجود جسم فلكى ذى جاذبية تحبس الضوء ، قد أثارها منذ قرنين الفلكى والفيلسوف البريطانى جون ميشيل John Michel ، ثم أعادها للأذهان بعد ذلك بقليل الفرنسى بيير لابلاس Pierre Laplace .

وليس من خطورة أن تتقلص الأرض بهذه الطريقة ، فهى آمنة من جهة جاذبيتها بصلاية مادتها . أما بالنسبة للأجرام الأكبر حجما ، فالأمر مختلف . فالنجوم مثل الشمس منهكة فى معركة لا يهدأ أوارها مع الجاذبية ، ولا يمنع انهيار هذه الكرات الغازية تحت تأثير وزنها الا ما يتولد بداخلها من ضغط هائل . فقلب النجم يصل لملايين من درجات الحرارة ، وهذه الحرارة تنتج ضغطا يكفى لحمل الوزن الهائل للطبقات المتتالية من



الغاز . ولكن الأمور لا يمكن أن تجرى على هذه الوتيرة للأبد . فالحرارة تتولد من التفاعل النووي ، والمصير النهائي للمخزون من الوقود النووي بداخل الشمس هو النفاد ، وعندئذ يقع النجم تحت رحمة الجاذبية .

وما يحدث بعد ذلك يعتمد بصفة أساسية على وزن النجم . فنجم كالشمس سينتهي به الأمر إلى التقلص لحجم يساوي حجم الأرض ، متحولاً إلى ما يطلق عليه الفلكيون القزم الأبيض . ومثل هذه النجوم معروفة منذ أمد بعيد . فرفيق الشعري اليمانية هو قزم أبيض يدور حوله . وبسبب الاندماج ، فالجاذبية السطحية للقزم الأبيض هائلة ، فملء ملعقة من مادته المدمجة تساوي حمولة سيارة نقل على الأرض ، ولكن وزنها يصل لعشرة ملايين طن تحت تأثير جاذبيتها المهولة . والأقزام البيضاء لا تنضغط بدرجة أكبر بفضل تأثير ميكانيكا الكم ، فالإلكترونات فيها لا تتقارب بدرجة أكبر بسبب تأثير على شاكلة التأثير الذي يحددها داخل الذرة في مستويات طاقة معينة ، وهو الذي يمنع الذرة من الانهيار . وهذا مثال درامي للتأثيرات الكمية تمارس دورها .

ويعود تفهم قدرة تأثيرات الكم على وضع نجم في حالة توازن إلى الثلاثينيات . ففي ذلك الوقت ، كان طالب هندي يدعى سوبرامانيان شاندراسيخار Subramanian Chandrasekhar مبحراً على متن سفينة متجهاً إلى إنجلترا للعمل مع الفلكي البريطاني ذائع الصيت سير آرثر ادنجتون Sir Arthur Eddington . وخلال رحلته الطويلة أجرى بعض الحسابات ، وتبين منها أن نجماً له كتلة أكبر من الشمس بنسبة ٥٠٪ تقريباً ، لن تجديه الإلكترونات تحت تأثير الكم المذكور في حمايته من المزيد من الانضغاط (١) . وقد عرض حساباته على ادنجتون الذي رفض تصديقها ، ولكن الطالب كان على حق ، فالنجوم بعد كتلة معينة لا يمكن أن تستقر عند أقزام بيضاء .

والانضغاط الأكثر في النجوم التي كتلتها تسبب جاذبية تتغلب على تأثير الكم المدعم للإلكترونات يسبب تغييراً في بنية الأنوية الذرية التي تتركز فيها أغلب الكتلة . فالذرة المنسحقة تعاني من شيء أشبه بانحلال بيتا معكوساً ، تنضغط فيه الإلكترونات والبروتونات لتتحول إلى نيوترونات . وتقوم النيوترونات تحت تأثير الكم السابق بنفس دور الإلكترونات في الأقزام البيضاء ، وتحت قدر معين من الكتلة يستقر النجم بعد انضغاطه عندما يعرف باسم النجم النيوتروني ( راجع الفصل

السادس ) ، ويتقلص حجمه نمطيا الى قدر مدينة ، بينما كتلته أكثر من كتلة الشمس . وسرعة الافلات للنجم النيوترونى هى نسبة من سرعة الضوء ، ومنها علمنا أن نجوما تقترب من النجوم السوداء التى قال بها ميشيل ولابلان موجودة بالفعل .

فماذا عن النجوم الأكثر كتلة من النجوم النيوترونية ؟ ان الفلكيين غير متأكدين من الحد الذى بعده يحدث مزيد من الانضغاط عن النجوم النيوترونية . بل ومنهم من يقترح مرحلة تالية من استقرار النجوم ، تستقر فيها المادة عند مرحلة الكواركات . ولكن حدا عاما يمكن استنباطه من النسبية العامة .

فلنعم نجم ذى كتلة معينة ، فان قلبه يجب أن يكون على درجة معينة من الصلابة . وكلما زاد النجم وزنا ، زادت الصلابة المطلوبة لمادة قلبه . وتعتمد الصلابة بدورها على سرعة انتقال الصوت بداخل المادة ، فتزداد مع زيادة الصلابة . فاذا ما بلغ النجم ثلاثة أمثال وزن الشمس ، وصلت الصلابة المطلوبة لابقائه لما يقابل سرعة انتقال للصوت أسرع من الضوء ، وهو محال من وجهة نظر النسبية ، وليس أمام النجم الا أن يواجه انهيارا تاما بفعل الجاذبية .

ولو كان لنجم أن يواصل الانهيار بعد مرحلة النجم النيوترونى ، فان اختفائه يتم فى أجزاء من الألف من الثانية ، الى هذه الدرجة تكون قوة جاذبيته . ويتجاوز سطح النجم سريعا الحد الذى يحبس الضوء ، ولذا فان مشاهدا على البعد لن يستطيع رؤيته بعد وصوله هذه المرحلة . ورغم أن ميشيل ولابلان كانا محقين فى امكانية تواجد نجوم سوداء ، فانهما كانا مخطئين فى تصورهما امكانية أن يكون النجم مستقرا عند هذه المرحلة . فنحن نعلم الآن أن نجما كهذا لن يستقر على حاله حين يصل لمرحلة حبس الضوء ، بل سيواصل انكماشه الى أن يتلاشى تماما من الوجود ، مخلفا وراءه ثوبا يحمل بصمة من جاذبية مهولة لما كان نجما يوما ما ، تتمثل فى التواء عنيف فى كل من الزمن والفضاء . وعلى ذلك ، فان منطقة الانهيار التجاذبى الكامل تظهر سوداء وفارغة معا ، أى ثقب أسود .

## تهاوى النجوم

هذا عن النظرية ، فماذا عن الواقع ؟ ان لدى الفلكيين شواهد مباشرة على وجود الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية ، أما الشواهد على وجود الثقوب السوداء فمثيرة للمصاعب . ان تحت أيدينا تصورا مقنعا لكيفية

تشكلها ، فالأمر ليس موجزا فى انهيار تام وشامل للنجم ، بل هو أكثر من ذلك تعقيدا . فالتفاعل النووى الذى يبقى على النجم حارا يتم فى أعماقه . وحين يأذن الوقود بالنفاد ، تتضاءل قدرة النجم على انتاج ضغط يقاوم الوزن الهائل لطبقاته المتتالية ، فيتقلص قلبه تحت تأثير الجاذبية . ويمكن أن تؤدى الظروف لأن يكون ذلك التقلص فجائيا . وحين ينهار النجم على نفسه بهذه الطريقة ، فانه يطلق نفثة من الطاقة ، جزء منها على صورة موجة تصادمية ، ولكن أيضا على صورة دفقة مهولة من جسيمات النيوتريـنو ( وهى أيضا من النتاج الثانوى للعمليات النووية التى تجرى داخل قلب النجم ) .

وتحت الظروف المعتادة ، ليس لجسيمات النيوتريـنو تأثير يذكر على المادة . فتفاعلها معها من الضعف بحيث يمكنه اختراقها مباشرة . ولكن التركيز الهائل للمادة المواجهة لانتشار جسيمات النيوتريـنو المصاحبة للموجة التصادمية يعوقها بدرجة كبيرة ، فيتسبب ذلك فى ضغط منها على طبقات النجم الخارجية يؤدى الى انفجارها وتشتتها للخارج فى الوقت الذى ينهار فيه القلب للداخل . والانـهيار والانفجار المتلازمان يعرفان لدى الفلكيين بانفجار المستعر الأعظم ، أو السوبر نوبا .

وانفجار المستعرات العظمى من أكثر الأحداث الفلكية اثارة . فلعدة أيام ، يماثل الضوء القادم من النجم ما يصل من مجرة كاملة ، اذ ان الطاقة المنبعثة من الانفجار تكون على صورة ضوء وصور أخرى من الاشعاع . ومثل هذا الانفجار فى مجرتنا يرى بالعين المجردة . ومن حوادثها الشهيرة حادثة « النجم الزائر » فى كوكبة الثور ، والتى سجلها الصينيون عام ١٠٥٤ . واليوم ، تظهر التلسكوبات سحابة متشتتة تعرف باسم سديم السرطان فى موضع الانفجار ، وهى البقايا المتخلفة عن موته الذى شوهد من ألف عام تقريبا .

وتشهد المجرة المتوسطة من انفجاره الى ثلاثة كل قرن ، رغم أنه لم يشاهد فى مجرتنا حادثة كهذه منذ اختراع التلسكوب . على أنه عام ١٩٨٧ شوهد انفجار مستعر أعظم فى سحابة ماجلان الكبرى ، وهى مجرة صغيرة تابعة لمجرتنا درب التبانة ، تشاهد فى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية . وقد قدم الحادث للعلماء فرصة ذهبية لاختبار آرائهم عن هذه الانفجارات ، وقد وضع النجم المنكوب تحت ملاحظة دقيقة منذ اليوم

الأول للواقعة . وأهم ما فى الأمر هو أن الحادثة شوهدت عيانا فى يوم انفجاره الأول ، اذ سجلت دقات من جسيمات النيوتريينو فى ثلاثة مواضع من الأرض فى نفس الوقت ، كانت تجرى فيها تجارب لاكتشاف انحلال البروتون . وبات من المؤكد أنها قادمة من قلب نجم ، وشكل وصولها مع الضوء المنبعث منه حال انفجاره دليلا مبشرا بسلامة أفكارنا الأساسية عن انفجارات المستعرات العظمى .

ولكن ماذا عن مصير القلب المنهار الذى قدح زناد هذا الانفجار ؟ ان مراقبة سديم السرطان قد كشفت عن نجم نابض فى منتصفه . ومن الواضح أن هذا النجم المنتحر بالذات قد آل الى نجم نيوترونى ، ولكن لم يكن من مانع لدى الفلكيين من أن يتحول الى ثقب أسود ، بل انهم ليعتقدون أن قدرا لا بأس به من انفجارات المستعرات العظمى قد آلت بالفعل لنفس المصير .

ولو أن مستعرا أعظم آل الى ثقب أسود ، فليس من المحتمل الكشف عنه من الأرض ، فهو أولا وأخيرا ثقب أسود . ولكن كثيرا من النجوم تتزاوج فى نظام ثنائى ، ولو آل أحدها لثقب أسود فسيبدو الآخر وكأنه يدور حول لا شئ . وفى كثير من الأحيان يجذب الثقب الأسود من مادة زميله ، ثم يبتلعها .

وبينما هذه الدوامات تشق طريقها الى داخل الثقب ، تتولد حرارة فظيعة ، مما يسبب انبعاث اشعاعات كثيفة من أشعة اكس . وعلى ذلك ، فان علامة طيبة لوجود ثقب أسود أن يلاحظ نظام ثنائى ، أحد أطرافه غير مرئى ، ويكون مصدرا قويا لأشعة اكس . وفى نظام كهذا ( يعرف باسم الدجاجة س-1 Cygnus X-1 ) أمكن بمراقبة حركة الجسم المرئى تقدير كتلة الجسم الخفى ، والتأكد من أنه بالفعل قد تجاوز حد النجوم النيوترونية .

وليست انهيارات النجوم هى الوسيلة الوحيدة لتكون الثقب الأسود . فكلما كانت المادة متاحة ، تيسر حدوث الانهيار التجاذبى . فعلى سبيل المثال ، قد يتكون ثقب أسود من مادة تصل لبليون شمس ، تكون كثافتها أكبر من كثافة الماء على كوكبنا . وهناك شواهد على وجود ثقب أسود بتلك الكتلة فى مركز المجرة . وبالتأكيد يوجد هناك جرم منضبط يمثل أيضا مصدرا للشوشرة الراديوية والاشعاعات الأخرى .

وقد تضم المراكز المجرية ثقباً سوداء ذات أجرام كبيرة ، تكافئ كتلة الشمس بليون مرة . هذه الوحوش تكتشف عن وجودها من وقائع التهامها لما يحيط بها من مادة . ويبلغ من عنف الالتهام أن تنطلق نتيجة له كميات هائلة من الطاقة تحس بما تنتجـه من مادة تنفث بسرعات عالية ، أو بما تولده من نبضات قوية من الاشعاعات . وتمثل المجرة م - ٨٢ M82 مثالا طيبا لنظام نشط يحتوى على ثقب أسود هائل .

وتمثل أشباه النجوم ، أو الكوازارات ، طائفة أخرى من الأجرام ، توجد مصاحبة للمجرات المضطربة . فالتغير في ضوئها ينبىء عن أن حجمها لا يزيد عن حجم نظامنا الشمس ، ولكن الضوء المنبعث منها يوازي مجرة ذات بليون نجم . ولدينا الآن شواهد طيبة على أنها قاطنة مراكز المجرات ، وتعطى أمثلة لأنشطة تشبه النظام ( م - ٨٢ ) . ويعتقد كثير من الفلكيين أن القوة الرئيسية التي تمتد هذا النشاط هي ثقب سوداء فائقة الكتلة منغمسة في غازات دوامية .

وبحكم التعريف ليس لنا أن نرى الثقوب السوداء . ولكن يمكننا أن نستنبط من النظريات ما يحدث لفرد يدلف اليه ، ويستكشف ما بداخله . والشئ الجوهرى لفهم الطبيعة الفيزيائية للثقب الأسود هو ما يطلق عليه « أفق الأحداث event horizon » ، وبعبارة فضفاضة ، هو سطح الثقب . فكل حدث يجرى وراء ذلك الأفق ، لا يمكن مشاهدته من الخارج ، حيث انه ما من ضوء أو إشارة أخرى يمكن أن تفلت من الثقب ، كما تنتقل لنا أية معلومة عما يجرى بداخله .

ولو قدر لك أن تقتحم شيئا كهذا ، فلن تكون فقط غير قادر على الافلات منه ، بل لن تستطيع - كالنجم الذى سبقك الى داخله - أن تمنع نفسك من الاستمرار فى الهبوط . أما ما سيحدث لك عند المركز ، فليس لأحد علم يقينى به . فطبقا للنسبية العامة ، يوجد ما يسمى « مفردة singularity » هناك ، حد من الزمن والمكان ضغط عنده النجم الاصلى ( وكل ما ابتلعه ) الى تركيز لا نهائى تحطمت عنده كل قوانين الفيزياء . ومن المحتمل أن تأثيرات الكم تجعل الزمكان شيئا غير محدد الملامح عند القرب جدا من المركز ، حيث تصبح المفردة هلامية على مستوى مسافة بلانك البالغة ١٠-٣ من المتر . عند هذه المرحلة لا توجد لدينا نظرية ترشدنا . وليس من الحكمة أن نحاول أن نستكشف بانفسنا أو أن نرسل انسانا آليا . فالجاذبية الهائلة لدى المركز تتزايد الى قيمة لانهاية ،

الامر الذى يتمخض عن تأثيرين ، اذا ما كان نزولك من جهة قدميك ، فستكون الجاذبية عليها أشد منها على رأسك الأبعد من المركز ، وفى هذه الحالة ستمط طوليا أكثر وأكثر ، فى الوقت الذى تزداد فيه نحافة بسبب الضغط على جانبيك . وفى نهاية هذه « المكرونة الاسباجتية Spaghettification » سوف تسحق الى الفناء ( أو تضيع فى غموض عدم يقين الكم ) . وسوف يحدث كل ذلك فى كسر من الثانية قبل وصولك للمفردة ، ولذا فلن يقدر لك أن تراها دون أن تكون جزءا منها . بلا رجعة .

على أن الامر سيبدو مخالفا لذلك بالمرة للشخص الذى يراقبك من الخارج . فالجاذبية لا تلوى الفضاء فقط ، بل أيضا الزمن . فبالقرب من نجم نيوترونى يكون هذا التأثير ملموسا ، وقد اكتشف بالفعل فى اشعاع النجوم النابضات . فمع اقترابك لأفق الحدث لثقب أسود ، يطول بك الزمن أكثر وأكثر بالنسبة لمراقب لك على البعد . ومع ذلك ، فإن من يعبر ذلك الأفق لن يرى شيئا غير عادى ، فأفق الحدث ليس له تميز مكانى ، رغم كونه يمثل حدودا لالتواء لا نهائى للزمن . فبالنسبة لمراقب خارجى ، سيبدو الامر مستغرقا زمنا لانهايا خلال اقترابك من افق الحدث ، بمعنى أن الزمن من – منظور معين – سيبدو كما لو كان متوقفا بالنسبة لزمان المراقب على البعد . وعلى ذلك ، فما يحدث لك داخل الثقب سيكون فى المستقبل اللانهائى للكون الخارجى .

ولذلك السبب تعتبر الرحلة الى داخل الثقب الأسود رحلة ذهاب بلا عودة . فدخولك الثقب ثم خروجك منه سيعنى أن المراقب الخارجى سيراك خارجا قبل أن تدخل . بمعنى آخر ، ستكون قد رحلت فى زمن معكوس . وليس لهذه النتيجة أن تسبب دهشة ، فالخروج من الثقب يعنى الانتقال بأسرع من سرعة الضوء ، وهذا كما رأينا يعنى رحلة فى زمن معكوس .

فاذا كان الشئ الذى يسقط فى الثقب لا يمكنه الخروج مرة أخرى، فماذا يحدث له ؟ وكما قدمنا ، أى شئ يقابل المفردة يواجه الفناء ، فهو يختفى من الوجود . فكرة مستديرة تماما من المادة ، حين تنهار لتصبح ثوبا أسود ، ستتقلص فى اتجاه المركز ، وستنضغط المادة الى مفردة . ولكن ماذا لو أن الجسم لم يكن كرة كاملة الاستدارة ؟ كل الأجرام الفلكية المعروفة تدور بسرعات مختلفة ، وحين تزداد سرعتها مع تقلصها تتفرطح

عند خط استوائها • هذا التشوه لن يمنع المفردة من التكون ، ولكنه يعنى أنها لن تشمل كافة أجزاء النجم •

وقد درست نماذج مثالية لثقوب سوداء مشحونة ودوارة ، لمعرفة أين تتكون المفردة منها ، وما مصير المادة الداخلة فيها • وقد بينت الدراسات أن الثقوب السوداء تمثل جسرا ، أو نفقا في الزمكان ، بين كوننا وكون آخر غير ممكن وصوله من كوننا • هذه النتيجة المذهلة تثير التصور لرحالة فضائي جسور يمر خلال الثقب غير مصاب بأذى ، ليجد نفسه في كون آخر ، في مكان ما من مستقبلها اللانهائي • ولو تم له ذلك فلن يستبعد أن يستطيع العودة الى نقطة بدايته من الثقب الأسود ، ليعبر النفق مرة أخرى •

ولكن عبوره النفق من الكون الجديد لن يعيده لكوننا ، بل لكون ثالث ، وهكذا بلا نهاية • فالثقب الأسود الدوار مرتبط بسلسلة لانهاية من الأكوان ، يمثل كل منها زمكانا متكاملا قد يكون ذا امتداد لانهاية ، كلها مرتبطة بداخل الثقب • وان تصور استخلاص أية فكرة تطبيقية من هذه الأفكار ، لهو أمر يستحسن تركه لكتاب الخيال العلمى •

ما الذى يبدو عليه الطرف الآخر من الثقب الأسود لمراقب من الكون الآخر ؟ طبقا لأبسط النماذج الرياضية ، فان المشاهد سيرى ذلك الشيء مصدرا لمادة منبعثة ، خلق انفجارى للمادة ، يسمى غالبا « ثقباً أبيض White hole » وكوننا مليء بالأشياء المتفجرة ، كالكوازارات ، وهو ما أثار تصور أن تكون هناك بالفعل أنفاق زمكانية تتسرب منها المادة لكوننا قادمة من كون آخر • على أن الذين يحملون هذه الأفكار محمل الجدل من علماء فيزياء الكون قليل عددهم • وعلى وجه الخصوص ، فهم يبينون أن النماذج الرياضية المبسطة تتجاهل تأثير ما يحيط بالثقب من مادة واشعاع ، واحتمال امتصاصهما لداخل الثقب الأبيض بفعل الجاذبية ، لتحوله لثقب أسود • كما أن النماذج المبسطة تتجاهل تأثير الفيزياء دون الذرية • فالنماذج الأكثر تطورا ، تبين أن هذه التأثيرات تثير من الاضطرابات داخل الثقب ما يحطم الأنفاق الزمكانية التى تربطنا بالأكوان المفترضة • والرأى العام لدى الجميع أن المادة المقتحمة لثقب أسود سوف يكون مآلها المفردة أو بشكل آخر •

فماذا لو أن التأثيرات الكمية ألغت المفردة بشكل أو بآخر ؟ للأسف، ليس تحت أيدينا نظرية كم متكاملة عن الجاذبية ، فليس في استطاعتنا أن نصنع نموذجا موثوقا به لذلك الفرض . فالغاء المفردة كلية أمر غير مؤكد . ويتوقع بعض العلماء أن تكون الحالة كذلك ، بينما يتجه البعض الآخر الى أن المفهوم المتعلق بالزمن والمكان في حد ذاته لن يستمر ساريا تحت تلك الظروف المتطرفة . أما ما يمكن أن يحل محلها بالضبط فأمر متروك للتفكير . وعلى ذلك ، فمن الأحوط النظر للمفردة على أنها نهاية للفيزياء كما نعرفها ، وليس لكل أشكال الفيزياء .

### ثقوب الديدان والسفر عبر الزمن

لقد كانت الفكرة المثالية عن ثقب أسود يسمح بالتنقل بين الأكوان معروفة لأكثر من عشرين عاما ، نظرا لمفهوم الأنفاق كتركيبة رياضية خالية من أي مضمون فيزيائي . ومنذ عدة سنوات ، كتب الفلكي الأمريكي رواية خيال علمي أسماها « الاتصال connection » ، عن مجتمع متقدم استطاع بناء نفق للعبور السريع بين أجزاء الكون . ولكي يعطي روايته شكلا مقنعا ، فقد سأل مشورة خبير في الثقوب السوداء ، الفيزيائي الكوني كيب ثورن Kip Thorn . وتحت تأثير الإعجاب بالفكرة ، فقد ناقشها كيب مع زملائه ، بغية معرفة المحددات الفيزيائية التي تحول دون تطبيقها . واتضح أن لها جانبا جديا أيضا .

فقد افترضت الحسابات السابقة عن أنفاق الثقوب السوداء افتراضات معينة عن طبيعة المادة . وقد افترض على وجه الخصوص ، بعبارة فضفاضة ، أن المادة تتسبب على الدوام في قوة جاذبة . ولكننا رأينا في الفصل الخامس أن تأثيرات الكم يمكن تحت ظروف معينة أن تنتج جاذبية مضادة . فلو أن هذه الظروف أعيد تطبيقها على مدخل الثقب ، فقد تتحقق إمكانية جعل الرحلة عبره ذهابا وإيابا .

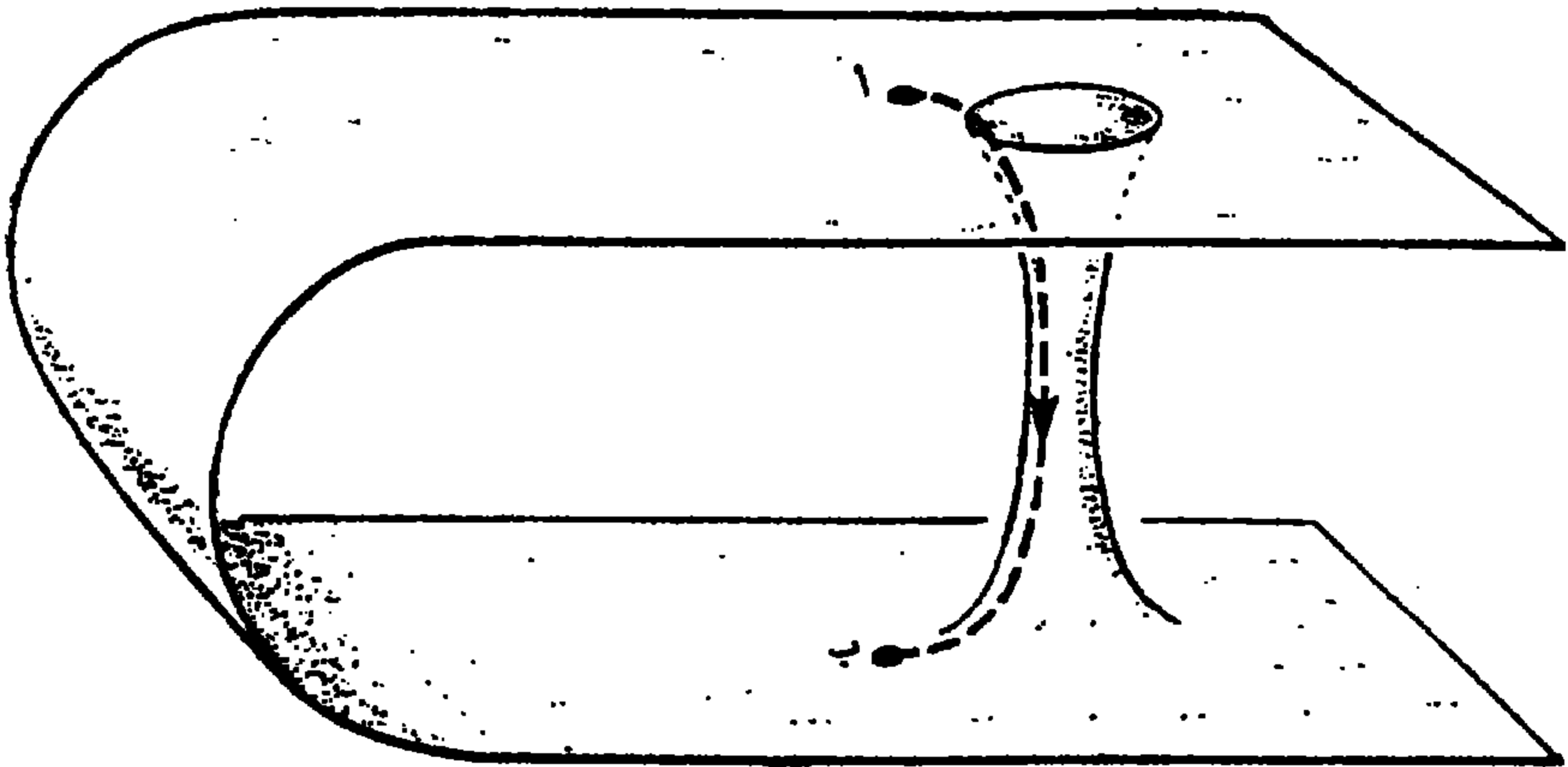
ومفتاح الجاذبية المضادة هو إنتاج ضغط سالب بوسيلة أو بأخرى . واتجه فريق كيب الى تأثير كاسيمر ( راجع الفصل الخامس ) للحصول على ذلك . فهم يدعوننا لتخيل لوحين عاكسين متقاربين بقدر كبير . ولتفادي اقتراب اللوحين لدرجة التماس ، تحت تأثير كاسيمر ، فقد زود اللوحان بشحنتين تولدان تنافرا يعادل بالضبط قوة التجاذب بينهما . وقد تصور الباحثون وضع تجهيز كهذا في مدخل النفق الفضائي .



وقد بينت الحسابات أن معادلات المجال التجاذبي كما وضعها أينشتاين متحققة في تركيب كهذا ، وأن الجاذبية المضادة المطلوبة هي بالضبط ما يتفادى النفق من الانهيار الى المفردة . وأصبح بذلك مدخل النفق ومخرجه ليسا لثقب أسود بالضبط ، ولكن لمجرد منطقة ذات قوة جاذبة هائلة يمكن للمسافر التخيلي أن يعبرها جيئة وذهابا دون خشية أن يبتلع للأبد .

وكتمثيل مبسط لما يمكن أن يحدث ، تخيل نفسك مسافرا من انجلترا الى أستراليا . فبسبب انحناء سطح الأرض ، ستكون مضطرا الى السير في قوس معين . ولكن لو أمكنك ثقب نفق عبر الكرة الأرضية ، فسيتحقق لك الكثير من توفير وقت الرحلة .

ومن السهل تصور كيف يمكن للأنفاق المصاحبة للثقوب السوداء أن تقوم بدور مشابه عبر انحناء الزمكان ( الشكل ٤١ ) . وكالعادة نمثل الزمكان بصفحة من الورق مطوية كما في الشكل . فلو أنك تمكنت من وصل سطحي الورقة بعد طيها عبر البعد الثالث ، فانه يكون بإمكانك التنقل بين السطحين دون أن تكون مضطرا للدوران (٣) . هذا التواصل عبر مناطق من نفس الزمكان يعرف لدى أرباب النسبية باسم ثقوب الديدان Worm holes . وأي شيء نتصوره حادثا لصفحة من ورق ثنائية الأبعاد عبر بعد ثالث ، يمكن رياضيا امتداده للزمكان الرباعي عبر أبعاد أعلى . فلو أن النقطتين متباعدتان بسنة ضوئية ، فانه يستحيل قطع تلك المسافة في أقل من سنة ، اما بالعبور خلال ثقب دودي ، يمكن لاشارة ، أو ربما شخص ، أن يحقق ذلك .



الشكل (٤١) ثقب دودي يربط منطقتين كلتاهما متباعدتين في الفضاء ، ويحقق السفر عبر الثقب الدودي اختصارا للرحلة .

والآن لنتصور أن الزمكان المطوى قد أعيد فردة مرة أخرى ، مع انحفاظ على الثقب ممتدا بين النقطتين . سيكون الوضع في هذه الحالة أقل إثارة ، حيث ان المسافة بين النقطتين عبر الزمكان المفرد ستبدو أقل منها عبر النفق الذى سيكون هو المنحنى ، مما يجعل الانتقال خلاله أطول وقتا .

على أن الموقف ليس بالضرورة كذلك ، لأن المكان والزمن يتصرفان بصورة غير تقليدية عبر الثقب الدودى . فعلى الرغم من كون الزمكان الأصلي هو المسطح ( أو تقريبا كذلك ) والثقب هو المقوس ، فان الاحتمال قائم أن يعبر المسافر بين النقطتين فى طرفة عين ، مهما كانت المسافة بينهما عبر الكون .

ورغم أن التصورات التى تمخضت عن دراسات فريق كيب تذهب باللب ، فان وجه الغرابة فيها ليس فى السفر عبر الفضاء فى الواقع ، بل عبر الزمن . فقد ذكرنا أن السفر أسرع من الضوء يعنى السير معكوسا فى الزمن . فالانتقال من النقطة ( أ ) الى النقطة ( ب ) عبر ثقب دودى معناه الوصول للنقطة ( ب ) قبل وصول الضوء من ( أ ) اليها . فعلى سبيل المثال ، يمثل الانتقال من الأرض الى مركز المجرة لحظيا عبر نفق دودى أن يكون المرء سابقا على وصول الضوء من الأرض بثلاثين ألف سنة عبر طريق الكون . وليس معنى ذلك الانتقال الى ثلاثين سنة فى الماضى ، ولكن تعديلا بسيطا فى الواقع يجعل السفر عبر الزمن ممكنا .

والتعديل الضرورى يتمثل فى أن تثبت فتحة من فتحتى الثقب ، وتجعل الأخرى متحركة بما يقارب سرعة الضوء . فاذا ما أوقفت الفتحة المتحركة ، ثم أعيدت الى قرب معقول من الساكنة ، فان فرقا زمنيا يكون قد خلق بين الفتحتين . وهذه نتيجة مباشرة من تأثير التوءمين ، حقيقة أن الساعة المتحركة تسير أبطأ ، وهى احدى النتائج الهامة للنسبية الخاصة ، كما قدمنا فى الفصل الثالث . فسوف يكون الزمن مقيسا بساعة عند الفتحة الثابتة ، أطول مما سجلته ساعة تحركت مع الفتحة المتحركة . ولذا ، فيمكن القول ان الفتحة المتحركة ستكون فى الزمن الماضى بالنسبة للثابتة . ولكن الحاضر ، بالنسبة لآى شخص مسافر عبر الثقب الدودى ، يكون دائما هو اللحظة التى عند الفتحة التى دخل منها . وفى حالة دخول شخص من الفتحة التى تحركت ، وبفرض وجود الفتحتين على بعد مناسب ، فسيكون خروجه من الفتحة الثابتة قبل لحظة الدخول . ومعنى ذلك أن الرحيل جيئة وذهابا بين الفتحتين يجعل المرء يتوغل أكثر

فأكثر في الماضي . ولكنك لن تستطيع أن تتوغل بأبعد من اللحظة التي بدأت فيها الفتحة المتحركة ، وبدأ فيها استنفار ظاهرة مط الزمن .

ومن غير المثير للدهشة أن ننبه الى أن هذا العرض مليء بالمحاذير . وأحدها متعلق بأهم عامل في الأمر ، السطحان العاكسان اللذان سيثيران تأثير كاسيمير . فمن المهم ألا تخلق مادتهما جاذبية تفوق الجاذبية المضادة التي يثيرانها . ومن الصعب تصور كيفية تحقيق ذلك . وبالإضافة الى ذلك يجب التفكير في وسيلة بحيث لا يخل المتنقل عبر اللوحين ( الباب السحري ؟ ) بالتوازن الدقيق للنظام . وتتعلق مشكلة أخرى بكيفية تحريك الفتحة المتحركة ، فهي ليست من مادة يمكن امساكها وجرها ، بل هي من الفضاء ( وان كان منحنيا ) . فيجب التفكير في شيء من قوة جاذبية أو كهربية تحقق ذلك ، مع الأخذ في الحسبان عدم تقلص قطر الثقب الى الصفر خلال عملية تحريك الفتحة ذهابا وعودة . وبصرف النظر عن كل ذلك ، فهناك مشكلة خلق الثقب السودي ذاته .

نريد الآن التركيز على أنه ليست أى من صور تلك الثقوب المفترضة مأخوذة مأخذ الجد . فهي من قبيل التجارب الذهنية . فالموقف التقليدي هو أن السفر عبر الزمن محظور لآية عملية فيزيائية مهما كانت ، لا شيء الا لاستقرار النظم الفيزيائية .

تصور أن مسافرا عبر الزمن قد رحل الى زمن طفولة جدته ، وقتلها . وبقتلها وهي طفلة ، لن يكون هو موجودا ، فيستحيل أن يقوم بفعلته . مثل هذا التناقض الداخلي يستدعى أن نتصور ضرورة قانون فيزيائي يحتم أن يوجد رابطة سببية متسقة للعمليات الفيزيائية ، بحيث يحال دون قتل قتل الجدات بأن يتعطل المسدس مثلا ، أو أن يتضح أنه كان ابنا بالتبني ، أو آية وسيلة أخرى . ولكن لو كنت معتقدا في الأكوان المتعددة ، فيمكنك تصور عمليات لا تؤثر على ماضى نفس الكون ، بل على كون قريب منه .

ومهما كان وجه الغرابة في تجارب الذهاب والعودة هذه ، فانه من الواجب التفكير في السؤال ، هل قوانين الفيزياء فقط هي التي تحول دون السفر عبر الزمن ، أم أن قواعد أخرى تساهم في ذلك الحظر . لقد كان هذا هو الدافع الحقيقي لعمل ثورن ورفاقه .

ولكن موضوع ثقوب الديدان هو محل أبحاث حاليا من قبل فرق بحث أخرى ، لكن ليس من وجهة نظر السفر الخيالية عبر الزمن . فقد

تركز الاهتمام بدلا من ذلك على ثقوب الديدان الميكروسكوبية التي عرضنا لها بايجاز في الفصل الخامس ، تلك التي تحدث بصفة طبيعية خلال الزبد الزمكاني . فكما أن الاضطرابات في الفراغ تخلق فوتونات وقتية ، فهي على نطاق أشد صغرا تخلق ( تقديريا ) ثقوبا ديدانية لحظية . وحجم ثقب منها يبلغ جزءا من  $10^{-20}$  من حجم نواة الذرة . وعلى ذلك ، فعلى المستوى الميكروسكوبى الفائق ، سيتحول الفراغ الى متاهة من تلك التراكيب ، مسوغة أن يطلق على طبوغرافيته لقب الزبد . وبتجاوز كبير ، يصف النسبيون هذه الأنفاق بأنها ثقوب ديدان « ميكروسكوبية » .

ويفترض الشغوفون بزيادة الزمن أنه لو أمكن الامساك بوحدة من تلك الثقوب الميكروسكوبية وتمديدها الى أن تصبح بأبعاد مرئية ، فإنها يمكن أن تستخدم كآلات للزمن . ويقترحون أن الكون من حولنا مليء بمثل هذه الآلات الزمنية الدقيقة والوقتية ، ولا تحتاج الا للتمكن من استغلالها . ولكن الامساك بثقب منها ، ومطه لأبعاد مرئية ، ناهيك عن منعها من التردى ، كلها أمور تجعل منها ، كما نكرر دائما ، خالية من مضمون واقعى . ولكن الأمر الجدى هو احتمال أن تمدنا أبحاث الثقوب الديدانية التقديرية بارشاد عن موضوع غاية فى الأهمية فى الفيزياء الحديثة .

### ما وزن الفضاء الخاوى

ان فكرة أن يكون للفضاء وزن هى فى حد ذاتها مستغربة ، وقد تبدو بلا معنى . كيف يمكن أن يكون « الاشياء » ذا وزن ما . علينا أن نتفهم جيدا أن الفضاء هو أبعد ما يكون عن « لاشيء » . فحتى حين يفرغ مكان ما من كل صور المادة ، فسيظل مرتعا للجسيمات التقديرية التى تخلقها تأثيرات الكم ، تهب للفراغ من حولها طاقة وضغطا . والطاقة لها كتلة تحسب من معادلة آينشتين  $E = mc^2$  ، حيث ج هى سرعة الضوء ، هذه الكتلة يتوقع لها أن تكون ذات جاذبية .

لكن للأسف لا تكون عملية الوزن فى صورة وضع صندوق فارغ ووزنه . فالفضاء يحيط بنا ، واذا كانت له جاذبية فستكون متساوية من كل الاتجاهات . والشيء الوحيد الذى يبدو فيه أثر تلك الجاذبية هو حركة الكون ككل . وقد بينا فى الفصل الخامس كيف أن طاقة الفراغ التقديرية تخلق جاذبية مضادة ، وليست عادية ، حيث ان الضغط المصاحب لها ضغط سالب . وطبقا للتصور التضخمى ، فإن « الوزن السالب »

للفضاء هو ما تسبب في الفترة الضئيلة ، لكن العنيفة ، من تمدد الكون في مرحلة نشوئه المبكرة .

وفي نهاية المرحلة التضخمية ، كان وزن الفضاء بصفة أساسية صفرا . ومع ذلك فقد أجريت محاولات للكشف عن أى تأثير ضئيل قد يكون متخلفا عن تلك المرحلة للآن . فلو أن وزن الفضاء ظل أكثر من الصفر بمقدار مهما كانت ضآلته ، لكان ذلك مبينا في الطريقة التي بها تمدد الكون ، في مواجهة الجاذبية للمادة العادية التي تحاول إبطاء ذلك التمدد .

وحتى الآن لم يكتشف تأثير من هذا القبيل . ويمكن وضع حد لما يمكن أن يكون عليه وزن الفضاء . والرقم ضئيل بقدر لا يتصوره عقل ، ١٠ - ١٢ من الوزن الذي كان سائدا وقت التضخم ، وهو ما يغرى باعتبار وزن الفضاء الآن صفرا حقا . ولكن هذه النتيجة تؤدي بنا الى موقف متناقض . فنحن نتوقع أن تكون طاقة الفضاء الكمي عالية جدا . وعلى ذلك فنحن أمام وضع يوحى بأن تكون المرحلة التضخمية هي المجرى الطبيعي للأمور ، بينما حالة الوزن القريب من الصفر للفضاء اليوم هي الشاذة ، بل قد تكون « من وحي الخيال » .

لماذا من وحي الخيال ؟ تبدو دقة التعبير من محاولة فهم كيفية أن تكون القيمة الحالية بهذا الصغر . ان طاقة فضاء الكم قد تكون في الواقع موجبة أو سالبة ، طبقا لطبيعة المجال . ولو أن الطبيعة نظمت الطاقات الموجبة والسالبة بحيث تتلاشى ، فان النتيجة تكون صفرا . ولكن ذلك يتطلب عملية امساك دفاتر دقيقة للغاية على المستوى الكوني . ولما كان من غير المحتمل أن يحدث ذلك اعتباطا ، فان الادعى للمنطق أن نتصور ميكانيزم معين يجبر وزن الفضاء على أن يكون صفرا .

من هذا المدخل تظهر فكرة ثقب الديدان في الصورة . فأحد المجالات التي تساهم فيها طاقة فراغ الكم هو المجال التجاذبي ، والذي تسبب الاضطرابات الكمية فيه ليس فقط في خلق ثقب ديدان وليدة . ولكن تشوهات أخرى في هندسة الزمكان . بعض من تلك التشوهات تكون على شكل « كون وليد » متكامل ، مرتبط بزمكاننا بواسطة ثقب دودي ، كما لو كان حبلا سريا . كل ذلك يحدث على مستوى ميكروسكوبي بالغ الصغر ، وعلى المرء أن يتخيل تلك النتوءات في اضطراب دائم ، أحيانا تنفصل عن كوننا حين ينقطع الحبل السري ، وأحيانا أخرى تمتص ثانية في زمكاننا حين تخبو تأثيرات الكم .

والتأثير التراكمي لذلك هو تغليف كوننا بشيء أشبه بفقايع غازية من فضاءات دقيقة في حركة دائبة ، كل فقاعة هي في الواقع كون متكامل من فضاء وزمن ، أشبه بصورة الأكوان المتوازية التي عرضنا لها سابقا . وترتبط هذه الفقايع بكوننا بالثقوب الديدانية ، وكما قدمنا يبلغ قطرها جزءا ضئيلا من قطر نواة الذرة ، ومن ثم لا يمكن رؤيتها مباشرة .

كيف يؤثر ذلك في طبيعة الفراغ ؟ لقد قام ستيفن هوكينج من كامبردج وسدني كولمان من هارفارد بمهمة حساب تأثير تلك المتاهة الفظيعة من الزبد على وزن الفضاء المتشعبة به . وقد اعتمدت حساباتهم على مبدأ عام من مبادئ الفيزياء يطلق عليه مبدأ الفعل الأقل *the least action* ومفهومه أنه ما من تغيير يحدث الا ويكون بحيث يستهلك أقل مجهود . فكرة البلياردو مثلا تسلك الخط المستقيم ، ولا تجهد نفسها في السير في طريق متعرج ما لم تؤثر عليها قوة تجبرها على ذلك . هذا المبدأ المتعلق بالكسل من الطبيعة حين يطبق على تذبذبات الثقوب الدودية يعنى أن الأكوان الوليدة ذات الطاقة الأقل هي المحبذة عن ذات الطاقات الأعلى ، وأكثرها تحبذا هي ذات الطاقة الصفرية ، وعلى ذلك فالمتوسط المتوقع لطاقة الفراغ الكمي تكون قريبة من الصفر ، وهذه القيمة تتخلل كوننا من آلاف الأكوان الوليدة التي تترابط معه .

ولو صحت هذه الحسابات ، فسنكون قد وصلنا الى نتيجة غريبة . فتوقعنا الساذج بأن وزن الفضاء صفر قد اتضح صحته ، لكن ليس للسبب الذي دار بخلدنا . فالسبب ليس له علاقة بالخواء ، ذلك لأنه حتى الفراغ الخاوي متأجج بالنشاط الكمي . أما انعدام الوزن فبسبب الزمكانات الطفيلية التي تتعلق بكوننا عن طريق الثقوب الديدانية ، والتي لولاها لتداعى كوننا .

ان الموضوع « ذا الوزن » الذي أثرناه في القسم السابق ليبين بجلاء مرة أخرى كيف تم تجاوز النمط الفكري النيوتوني ، ذلك أنه في اظهار الأنشطة الكونية اتضح أن دور المادة هامشي ، وأن النشاط الأساسي يأتي من قبل أقل كينونات لامادية متصورة ، غشاء من ثقوب الكم الدودية اللحظية ، ليست سوى زبد من الفضاء الخاوي تتشكل على هيئة أنفاق ، وعقد ، وجسور نصف حقيقية . وانه فقط بسماع من الخواص المتميزة لهذا الزبد أمكن للمادة أن تمارس تأثيرها في الكون ، ذلك لأنه لو كان وزن الفضاء ليس قريبا من الصفر بدرجة لا تصدق ، لكانت طاقة الكم للفراغ هي المسيطرة على ديناميكية الكون ، وليست الجاذبية .

في الفصول السابقة بينا كيف أن ثورة الكم والنسبية غيرتا من صورة الطبيعة من ساعة منضبطة الى شيء أكثر عمقا وخفاء . ولكن هذا التغيير لا يذكر بجوار تأثير ثورة المعلوماتية الجديدة . لقد سبق وذكرنا في الفصل الثاني أن نظرة العلماء للكون الفيزيائي ، تبدلت لتكون بدرجة أقل فأقل كمجموعة من التروس الميكانيكية ، وبدرجة أكثر كنظام لمعالجة المعلومات . لقد ولى عهد جسيمات المادة الصماء ، ليحل محلها « بتات bits » (٤) المعلومات . هذه هي الصورة النموذجية التي تبزغ للكون ، نظام معقد يحتل فيه العقل والذكاء المعلومات مكانا أسمى من المكونات المادية . لقد آن الأوان لنلقى نظرة على الحياة ، والعقل ، والذكاء ، ليس بالمعنى البشرى الضيق ، بل في مضمار كوني .

## هوامش الفصل التاسع

- (١) تسمى النسبة المذكورة « حد شاندراسيخار » ، وهي تبلغ بالتحديد ١/٤ مرة قدر كتلة الشمس ، وقد حاز شاندراسيخار على جائزة نوبل عام ١٩٨٣ - ( المترجم ) .
- (٢) حرف س أو X يعنى انه مصدر لأشعة اكس - ( المترجم ) .
- (٣) ولو أخذت سمك الورقة في الاعتبار ، فسيكون عليك تصور شق ثقب خلاله لتقصير مسافة العبور من أحد الأوجه للوجه الآخر .
- (٤) البت ( أو البتة ) هي وحدة المعلومات في علم الحاسوب ، وهي مشتقة من binary digit . بمعنى « رقم ثنائي » - ( المترجم ) .

## الفصل العاشر

### الكون الحى

اعتقدت ثقافات عديدة أن الكون كائن حى • فأرسطو المعروف بشغفه العميق بالبيولوجيا ، كان متأثرا بحقيقة أن الكائنات الحية تحفز بأهداف محددة ، بحيث تشكل أفعالها جزءا من خطة موجهة نحو هدف سابق التحديد • فعلى سبيل المثال ، حين نرى طائرا يبني عشا ، يكون من الواضح أن لهذا الفعل علاقة بوضع البيض والعناية بالصغار • وكونه واعيا لما يفعله أمر خلافى ، ولكن بالتأكيد ليست أفعاله عشوائية ، فهى لا تفسر الا على ضوء الهدف النهائى •

ومن المغرى أن نعزى ما يحدث فى دنيا الكائنات الحية الى الطبيعة ككل • وكثيرا ما يستخدم الناس لغة توحى بالهدف مجازا ، فنقول « يبحث الماء عن الوصول لمستواه » أو « يحاول الجو التحسن » • وفكرة كون المادة عنصرا به حياة ، بدلا من كونها شيئا أصم تتدافعه القوى العمياء ، يرجع الى شىء كامن فى تكويننا •

لاحظ كيف أن الأطفال يتقبلون قصصا تشخص فيها الجوامد مثل القطارات والسيارات وحتى الجبال والسحب ، ككائنات حية ذات شخصيات ومشاعر • وطبقا لما ذهب اليه أرسطو ، فالكون بأسره يماثل كائنا حيا هائلا ، يتجه نحو هدف كونى معين • هذا المذهب يعرف بالغائية teleology (١) ، وهو يرى أن كل عملية من عمليات الطبيعة موجهة نحو غاية معينة •



ومع بزوغ شمس العلم الحديث ، وخصوصا الاطار الفكرى لنيوتن، هجر المذهب الغائى ( على الأقل فى غير البيولوجى ) واستبدل به مفهوم الساعة الكونية . ومع ذلك ، ففي أكثر الأزمنة اغراقا فى الآلية والمنطق المجرد ، ما فتئت بعض الأفكار القليلة تطل برأسها لتمس وترا لدى قطاع عريض من الناس فى العصور الحديثة ، تنبع من مفهوم Zala (٢) ، المفهوم الذى يفترض أن الأرض ذاتها ، من منظور معين ، يمكن أن ينظر اليها ككائن حي ذى وحدة واحدة .

وليس من موضوع يتعارض مع هذا النمط من التفكير أكثر من لغز الحياة . فمن الوجهة الآلية الصرفة ، فإن الكائنات الحية ليست الا آلات، وان كانت آلات مذهلة التعقيد . كما نظر لتطور الحياة بنفس المنطق كصورة من صور الآلية ، ولكن أضيف لها عنصر خلاق خلال التغيرات العشوائية . ويقبل أغلب البيولوجيين أنه ما أن دبت الحياة ، حتى أصبح التغير الجينى العشوائى والانتخاب الطبيعى كفيلىن وحدهما بالوصول بها الى كافة الصور التى صارت اليها . أما فيما يختص بأصل الحياة ، فالمشكلة أعقد . ومن المفترض على نطاق واسع أن احتمال العمليات الفيزيائية الدقيقة التى أدت الى ظهور أول كائن حي ضئيل للغاية ، انها على أى الأحوال محاطة بالأسرار . ومن هذا المنظور يمكن أن تعتبر مقصورة على الأرض ، حيث انه من غير المحتمل أن تكون قد تكررت فى أماكن أخرى .

وعلى النقيض من هذه الفلسفة ، تذهب الآراء الحديثة الى الاعتراف بالقدرة الخلاقة والتطورية لأغلب العمليات الفيزيائية . فالحدود الفاصلة بين ما هو حي وما هو غير حي لا يمكن أن تكون قاطعة . وأصل الحياة ليس الا خطوة ( وان كانت ذات خطر ) فى طريق تطور المادة نحو التعقيد والاغراق فى التنظيم . ولو كان للطاقة والمادة خصيصة نزوع كامنة للتنظيم الذاتى ، فإن الاحتمال يكون قائما على الدوام لتكرار ظاهرة الحياة مرات ومرات ، طالما توافرت الظروف الملائمة . وفى هذه الحالة فيمكننا تصور حياة فى كواكب أخرى ، بل وصور عاقلة منها . وسوف يعتبر اكتشاف الحياة فى مكان ما من الكون دعامة قوية لمنطق ما بعد الآلية ، على أن يثبت طبعا أن هذه الحياة « الغريبة » قد نشأت حقا على استقلال .

وقد مكنت التطورات الحديثة فى علوم الفضاء من وضع أول خطة منهجية بدائية للبحث عن الحياة خارج الأرض . وتمثل المواضيع المثارة

أهمية بالغة لتشكيل نظرتنا لأنفسنا وللحياة الطبيعية من حولنا ، كما أنها ذات مؤشرات مباشرة لحاجتنا لأطر جديدة للتفكير . ولكن قبل أن نبدأ البحث ، علينا أولا أن نعرف جيدا ما الذى نبحث عنه ، فما الحياة حقا ؟

### ما الحياة ؟

لا تمثل الحياة صعوبة فى التعرف عليها حين نلتقى بها على الأرض . فأناس ، والفئران ، والفطريات ، والميكروبات ، هي كائنات حية بلا جدال . ولكن ، ما الخصائص المشتركة لها جميعا ؟ ان الخصائص المتعارف عليها للحياة هي القدرة على التكاثر ، والاستجابة للمؤثرات ، والنمو . والمشكلة أن كثيرا من النظم غير الحية تشترك مع الحية فى بعض من هذه الخصائص (٣) . فالنيران تتكاثر ، والبلورات تنمو وتتكاثر ، والفقايع تتراجع حين تقترب منها ، مستجيبة للمؤثرات الخارجية .

والأكثر من ذلك ، فإننا ما أن نهبط الى مستويات أدنى من مستوى الحياة العادية ، بما يتجاوز حواسنا ، خاصة البصر واللمس ، يزداد الفرق بين ما هو حى وما هو غير حى غموضا . والمثل التقليدى لذلك هو الفيروس . فعلى الرغم من حقيقة أن الأمراض الفيروسية تتضمن نشاطا بيولوجيا واضحا ، فإن الفيروس نفسه لا يحقق شيئا من الخواص المذكورة ، فهي لا تتكاثر بنفسها ، ولا بمعونة غيرها من الفيروسات . فالفيروس لا يتكاثر الا على حساب الأنشطة البيولوجية لما يغزوه من خلايا . وبمعنى آخر ، فهو يحول تلك الخلايا الى خط انتاج لحسابه . ومن هذا المنطلق يمكن اعتبار الخلية التي غزيت لم تعد حية ، حيث انها فقدت القدرة على التكاثر . ولكن الفيروس المنعزل لا يزيد عن ذرة رماد ، لا تختلف كثيرا فى خواصها عن غيرها من المواد العارية عن مقدرة حيوية .

هذه المصاعب تضطرننا الى اللجوء لتعريف أكثر هلامية . بالتأكيد لابد من وجود درجة عالية من التنظيم . وربما يجدر بنا أن نتحول بالمرّة عن التفكير فى الكائنات الحية منفردة ، ونوجه اهتمامنا للتأثيرات المتبادلة للأشكال المختلفة للكائنات الحية فى مجموعها . وعلى الأرض ، يسمى ذلك المجال « المجال الحيوى biosphere » . فمن المشكوك فيه أن يتمكن كائن حى من المعيشة فى انعزال على سطح الأرض ، انها الشبكة فى مجموعها هي التى لها الصبغة الحيوية .

ويعيدنا ذلك ، من طريق آخر ، للمفهوم الخلافى لتعدد صور الحياة على الأرض كعناصر لكائن حى واحد ، وهو جوهر فرضية Gaia . وتنسب الفكرة الى جيم لوفلوك jim Lovelock ، وأثارت على التو جدلا حادا بين البيولوجيين والبيثيين ، ولكنها أخذت فى بعض القطاعات شكل الموضة ، أحيانا فى تزيين لم يقل به لوفلوك نفسه . وليس المقام بكاف لعرض تفصيلي لهذا الجدل ، ولكننا نريد بالفعل أن نبين أن مفهوم Gaia يقع موقعا طبيعيا من مفهوم التعقد ذاتى التنظيم . ليس هذا فقط . لو أن أشكال الحياة على الأرض قد نظر لها كعناصر لنظام واحد أكثر تعقيدا ، سواء أطلق عليه « المجال الحيوى » أو Gaia ، فانه من المتصور أنه خلال التطور المستقبلي للكون قد يزداد التعقد ليشمل ليس فقط الكواكب المنفردة ، ولكن نظاما متكاملة من النجوم ، وفى النهاية ، لو سنح الوقت ، مجرات كاملة ، فى شبكة حية من التبادل الكونى . ولكن ذلك يقع فى المستقبل القصى ، واهتمامنا منصب على الطرف الآخر من السلسلة ، كيف نشأت الحياة على الأرض ؟

منذ عهد داروين ، والبيولوجيون تحت سيطرة مفهوم التطور التدريجى . فمن التسجيلات الأحفورية يمكن أن يستنبط أن الظروف الراهنة للمجال الحيوى هو حاصل خطوات لا حصر لها نحو درجات أكبر من التعقد ، والتكيف ، والرقى . فعلى سبيل المثال ، منذ خمسمائة مليون عام لم يكن هناك أى شكل من أشكال الحياة على وجه الأرض . ومنذ مائتى مليون عام لم تكن هناك كائنات ذات عمود فقرى . وأقدم حفريات تضم أبسط صور الحياة المجهرية ترجع لثلاثة بلايين ونصف البليون من الأعوام . وبالنظر لهذا التطور من البساطة والتعقيد ، مع وجود الفيروسات التى تمثل الجسر بين ما هو حى وما هو غير حى ، فمن المغرى أن نتصور أن أصل الحياة على الأرض لم يكن بدوره الا خطوة من تطور أشمل ، جزء من التطور الذاتى للكون . وعلى ذلك ، فهل كان من الممكن أن تخلق الحياة من الكيمائيات غير الحية ؟

## أصل الحياة

ان قصة الخلق الذاتى للحياة لها تاريخ طويل . ومن الأمثلة المحببة لذلك ظهور يرقات على قطعة لحم متعفنة ظهورا « ذاتيا » ، ولكن ليس ذلك ما نعنيه الآن بنشأة الحياة من مواد غير حية . فقد أزال أعمال لويس باستير مثل هذه التصورات الساذجة . أما دراسة الخلق الذاتى فتقع الآن تماما فى مضمار علم البيولوجيا .

وقد اتخذت خطوة عملية لدراسة نشأة الحياة على الأرض بواسطة ستانلي ميلر Stanley Miller وهارولد يوراي Harold Urey من جامعة شيكاغو عام ١٩٥٣ ، في تجربة تعتبر الآن كلاسيكية . وقد ارتكزا على فكرة أنه لو تمكنا من خلق نفس الظروف التي يعتقد أنها كانت سائدة وقت نشأة الحياة معمليا ، فقد تتكرر نفس محفزات العمليات الكيميائية التي أدت لتخليق المواد الحسوية . وطبقا للأفكار التي كانت سائدة وقتها ، فقد ملأ قارورة بغاز الميثان والهيدروجين والأمونيا والماء ، اعتقادا أنها تمثل جو الأرض في تلك الحقبة السحيقة . أما الجو الحالي للأرض ، والمكون أغلبه من النيتروجين والأكسوجين ، فهو نتاج تطور طويل ، متأثر بدوره بالعمليات البيولوجية ، وهو إشارة مميزة لأي مجتمع مستكشف خارج الأرض لقابليتها لوجود الحياة على متنها .

وتضمنت التجربة التي استمرت لعدة أيام إطلاق شرارة كهربية في القارورة ، تمثل الطاقة التي كانت تستمد من الصواعق آنذاك . وأخذ لون المحلول في الاحمرار ، وحين حلل وجد أنه يحتوى على مقادير لا بأس بها من جزيئات عضوية «٤» تسمى الأحماض الأمينية . والأحماض الأمينية ليست جسيمات حية ، ولكنها اللبنات الأساسية للبروتينات ، والتي هي عنصر أساسي للأجسام الحية . فبداخل خلاياك تترجم أكواد من حمض D.N.A بواسطة حمض R.N.A الى جزيئات بروتينية عاملة ، تقوم بوظائف الحياة . وبدأ الأمر للبعض ، وكان ذلك في مطلع الخمسينيات ، أن ميلر ويوراي في طريقهما لانتاج الحياة معمليا . ولا ننكر أن البون شاسع بين انتاج عدة أحماض أمينية وأول كائن حي متكاثر ، الا أن اعتبار ملايين السنين التي مرت على الأرض تجعلنا نتصور أن هذا الحساء من الأحماض الأمينية قد تطور بالتدريج الى جزيئات أكثر تعقيدا ، بينما الجزيئات العضوية تتدافع وتتجمع بطرق شتى .

ولكن للأسف ليس الأمر بهذه السهولة ، لسبب ذكرناه لتونا ، الا وهو حمض DNA ، ففي نفس عام تلك التجربة الشهيرة ، قام فرانسيس كريك Francis Krick وجيمس واتسن James Watson (٥) من جامعة كامبردج بوضع أول هيكل للحمض المذكور ، وهو الحلزون المزدوج الشهير ، مهدين الطريق نحو دراسات أعمق لوضع آلية الذي تسير عليه الحياة على الأرض . وحتى ذلك الحين ، كانت هناك مدرسة محترمة تعتقد أن البروتينات هي سر الحياة ، ومن ثم فإن انتاج الأحماض الأمينية خليف بأن يكشف لنا عن ذلك السر . وبعد اكتشاف أهمية حمض DNA ، كان طبيعيا أن تحجم أهمية تلك الخطوة .

وتعتمد كافة صور الحياة على الأرض على هاتين المجموعتين من الكيمياءيات ، الأحماض النووية والبروتينات ، وكلتاها مكونة من الكربون والهيدروجين والأكسوجين ، مع مقادير قليلة من مواد أخرى كالفسفور وانكبريت . وتخلق البروتينات من عشرين نوعا من الأحماض الأمينية بتراكيب مختلفة ( ليس كل بروتين يحتوى على العشرين حمضا ) . وهى ذات دورين ، كعناصر بنائية ، وكمحفزات ( يطلق عليها اسم « انزيمات » ) للعمليات الكيميائية الجوهرية . ولولا وجود المحفزات لتباطأت العمليات الحية الى أن تتوقف . والأحماض النووية هى المسئولة عن تخزين الكود الجينى ونقله ، وهو كافة المعلومات عن بناء الكائن وتشغيله . ويتضمن الكود كل التعليمات لتخليق بروتين معين أو انزيم معين . وأحد الأحماض النووية . وهو D.N.A. يأخذ شكلا أصبح مألوفاً ، وهو سلسلة طويلة من حلزون مزدوج ملتف ، وهو موجود حيث يراد فك شفرة نسخ الكائن أو تشغيله .

وتتكون المواد غير العضوية ، كالماء والهواء من ذرات عنصرين أو ثلاثة مترابطة بقوة التجاذب الكهربائية . أما جزيء الـ D.N.A فقد يتكون من عدة ملايين من الذرات . وفى الواقع ، فكل خلية فى جسمك تحتوى على ما طوله ، حين يمد الى نهاية أطرافه ، مائة وثمانين سنتيمترا من الـ D.N.A وتنظيم كل هذه الذرات ليس عشوائيا ، بل بترتيب غاية فى التعقيد . فتغير قليل فيه يؤدى للفرق بين الفيل والبعوضة ، أو بصورة أكثر غموضا ، بينك وبين الشمبانزى . والتنوع المذهل لصور الحياة على الأرض يعكس التنوع فى ترتيب تلك الوحدات البنائية .

وفى الواقع ، فان عدد طرق ترتيب ذرات الكربون والأكسوجين والهيدروجين فى سلسلة D.N.A كبير بشكل لا يتصور . واحتمال تكوين عشوائى لحمض بذلك التعقيد يحمل شفرة الجنس البشرى هو غاية فى الضلالة . ولو أن هذا ما حدث بالفعل ، فان الحياة تكون معجزة بمعنى الكلمة .

ولكن ماذا عن الانتخاب الطبيعى لداروين ؟ ألا يمكن لهذه العملية وحدها أن تكون مسئولة عن هذا التعقيد ؟ للأسف ، ان التأثيرات التطورية التقليدية تعجز عن دفع الحساء قبل الحيوى تجاه مادة حية حقيقية .

فمفهوم الفرد الأقوى ، والأكثر تكيفا ، والذي يملك مزايا على أقرانه ، ويمكنه بالتالي البقاء وشغل البيئة بنسل أكثر منهم ، من الصعب تصوره لجزيئات غير حية لا تملك التكاثر بنفسها على أية حال .

والنقلة من الأحماض الأمينية الى البروتينات لا يعرف عنها الا النزر اليسير ، وأقل منه عن أصل الأحماض النووية . ويتصور أن نوعية ما من حساء ميلر يوراي البدائي يمكنه ، لو ترك على حاله ، أن يجد نفسه متجها آليا الى النوع الصحيح للتركيب الجزيئي . فعلى سبيل المثال ، يتسبب فعل الانزيم المكون عشوائيا في تركيز نوع ما من الجزيئات بدرجة أكبر على حساب أنواع أخرى . ولو أن هذه الجزيئات بدأت في تكوين ذات الانزيم الذي ساعد على تفضيلها ، فإن الدورة تصبح متوالية في اتجاه البقاء الذاتي . وعن طريق دورات مشابهة يمكن الصعود الى درجات أعلى وأعلى من التعقد الى أن يتمخض الأمر في النهاية عن أول جزيء هائل الحجم مستطيع التكاثر . وتسهل المسيرة بعد ذلك ، حيث يبدأ ذلك الجزيء في تحويل الحساء من حوله الى نسخة من ذاته . بعد ذلك يفتح المجال للتطور كما ارتآه داروين ليقوم بنشاطه .

هل هكذا بدأت الحياة ؟ هذا ما يدعيه كثير من العلماء . ولو صح زعمهم ، فإن الخلق المباشر من الكيمائيات الميتة يكون أيسر من أن يثير كل ذلك العجب . أن عمر الأرض لا يزيد عن أربعة بلايين عام ونصف البليون من الأعوام ، وظلت لعدة ملايين من الأعوام عرضة لضربات عنيفة من الصواعق والشهب ، بينما تسجل أقدم حفرة لحياة أولية ثلاثة بلايين ونصف البليون من الأعوام ، الأمر الذي يبين أنه ما ان تكونت الأرض حتى بدأت رحلة الحياة . هذا التأهب دفع بالكثير من العلماء الى الاعتقاد بأن الحياة تطور تلقائي حتمى لعمليات فيزيائية مناسبة ، صورة بديلة من المادة تبزغ طبيعيا حين تجد المادة الخام المناسبة . وإذا كان الأمر كذلك ، فإنه يكون من الواضح أن الحياة أبعد عن أن تكون معجزة ، بل هي بالأحرى إحدى الظواهر الطبيعية الشائعة للكون ، واذن ، فأين هي ؟

### عوالم من ورائنا

منذ عصر كوبرنيكس ، لخمسة قرون خلت تقريبا ، والبشرية لا تفتأ تتلقى درسا بعد الآخر يلقتها أنه ما من شيء متميز حول الأرض . فهي مجرد كوكب عادي بالقرب من نجم عادي في منطقة ما من مجرة عادية . هل لنا أن نتصور أن نشأة الحياة هي استثناء من هذه « الوسطية » ؟

أم ترانا يجب أن نستطرد فيما بينه كوبرنيكس ، ونقول ان الحياة بدورها نتاج عادى لتطور كوكب كالارض ؟

لو كانت الحياة تنشأ تلقائيا بالفعل حين توجد الظروف المواتية ، فان بحثنا عن مخلوقات كونية يتحول الى البحث عن مواضع تتحقق فيها تلك الظروف . فما أن يوجد كوكب شبيه بالارض فى مكان ما من المجرة ، حتى يبدأ ديبب صورة ما من الحياة ، طبقا لوجهة النظر هذه . ولكن بحثنا فى المنطقة المجاورة لنا غير مشجع . فشقيقات أمنا الارض الثمانى فى المجموعة الشمسية يختلفن جميعهن عنها فى مسألة استضافة الحياة ، ولكن مع ذلك ، فلم ينم استبعادهن تماما .

فلوقت طويل كان المريخ أقوى مرشح لوجود حياة شبيهة بما على الارض فى عائلة النظام الشمسى . فجوه وان كان لا يقارن فى قسوته بجو الارض ، فهو أشد برودة وأخف بكثير من جو الارض ، الا أن صوراً من الحياة توجد على الارض فى مثل تلك الظروف ، ويمكنها بلا جدال العيش على سطحه لو نقلت الى هناك . والاكثر من ذلك ، فقد وجدت شواهد على أن الماء ، وهو مكون أساسى للحياة ، قد وجد هناك منذ وقت مضى .

ومن المهم أن نتذكر أن الحياة تطورت على الارض فى أشكال متعددة ، كل منها تكيفت ببراعة مع الظروف الفيزيائية الخاصة ببيئتها الخاصة ، رغم أن تلك الظروف قد تختلف اختلافاً بينا على سطح الكرة الأرضية . فالبكتيريا مثلاً يمكنها أن تعيش وسط حمأة من الماء المغلى ، بينما تعيش كائنات ميكروبية فى وسط جليد انتاركتيكا ، حيث لا تختلف الظروف كثيراً عنها على المريخ . وحتى لو كانت الظروف الحالية غير قادرة على الاحتفاظ بشكل من الحياة على سطح المريخ ، فانه من المتصور أن تكون الحياة قد ظهرت فى مرحلة رطبة سابقة من تطور الكوكب ، ثم تكيفت الى الظروف الحالية التى نراها غير ملائمة للحياة .

وقد كان المريخ عرضة لعمليات استكشاف طويلة للبحث عن الحياة فيه ، كجزء من مهام المركبتين اللتين هبطتا على سطحه فى أوائل السبعينيات من سفينتى الفضاء فايكنج . وقد أجريت أربع تجارب للكشف عن تأثير كائنات حية على تربته ، كتلك التى تعيش على سطح الارض . وقد أدت إحدى هذه التجارب لنتائج ايجابية ، والاخرى لنتائج سلبية ، وأدت اثنتان لنتائج محيرة وغير متوقعة . ولا تنفى نتيجة سلبية وجود الحياة ،

بل فقط تعنى علم اكتشافها (٦) . والنتيجة الايجابية يجب أن تؤخذ كتأكيد لوجود الحياة ، ولكن مع الغموض فى التجريبتين الآخرين فان ذلك يثير احتمال وجود عيب فى اجراءات التجربة ، ومن ثم فلا يجب الأخذ بها على علاتها . ومن هذا المنطلق كان حذر أغلب العلماء ، فهم يذهبون الى القول بوجود نشاط كيميائى على سطح المريخ ، ولكنهم لا يجازفون بالقول بوجود نشاط لكيمياء حيوية . وعلى ذلك ، فعلى ضوء نتائج سفينة الفضاء فايكنج ، مازال موضوع الحياة على المريخ مفتوحا ، رغم أن الصور المرسلة تبين أنه ، على الأقل بالقرب من المركبتين ، لا توجد أشجار أو حيوانات .

ولعل الأمل يكون أكبر على سطح المشترى ، وفى القمر الهائل تيتان لكوكب زحل ، وكلاهما موضوع لبحث سلسلة الرحلات الفضائية فوياجير فى الثمانينيات . ويعتقد الكثيرون أن الظروف على سطح المشترى ، رغم برودته الفائقة ، تتشابه مع الظروف البدائية للأرض . فكميات غازى الأمونيا والميثان ، مع العواصف والأعاصير العنيفة تشابه ، من منظور معين ، تجربة ميلر - يوراي على نطاق هائل . كما أن تركيبته متعددة الطبقات تعطى ظروفًا كيميائية وفيزيائية مختلفة واسعة المدى ، قد توائم بعض منها ظروف الحياة ، بل ان اللون السائد فى بعض أحزمة المشترى ، وهو اللون الأحمر الضارب للصفرة ، هو نفس اللون الذى تسخضت عنه تجربة ميلر - يوراي .

وبالنسبة لتيتان ، والذى وجد باردا لدرجة تدعو للاحباط ، له جو كثيف من النيتروجين ، ومن المحتمل أن تكون له بحار من النيتروجين السائل . وهو يشبه صورة من الحساء الحيوى فى حالة برودة شديدة ، وضع فى حالة تخزين بالتبريد حين تكون النظام الشمسى منذ أربعة بلايين من الأعوام . ولكن الشمس ، طبقا لأكثر التوقعات الفلكية اعتمادية ، سوف تتزايد حجما لتصبح عملاقا أحمر ، وتشع بالتالى قدرا أكبر من الطاقة ، فهل سيكون ذلك بمثابة اخراج تيتان من ذلك التبريد الفائق وتدفعته الى الحالة التى تعتبر مثالية لنشوء الحياة ؟ ربما يكون الفرق بيننا وبين بقية أعضاء النظام الشمسى من حيث وجود الحياة ، فرقا زمنيا وليس مكانيا .

وتعتبر بقية أعضاء المجموعة أقل وعدا بوجود حياة فيها . ويكمن الأمل الحقيقى الآن فى نجوم أخرى . وتحتوى مجرتنا وحدها على بليون



شمس ، العديد منها يمكن أن تكون مصحوبة بتوابع تشبه أرضنا ، وتجعل منها مكانا ملائما لنشأة الحياة . وحيث ان أقوى تلسكوباتنا ( عدا التلسكوب الفضائي هابل حين يتم اصلاح ما به من عطب ) غير قادرة على الكشف عن مثل هذه التوابع ، فان الامر يظل فى طى الافتراضات فقط . وعلى الرغم من اختلاف الآراء حول العدد الممكن للكواكب التى لها ظروف تشبه الأرض ، وحول مدى القرب اللازم بالضبط من ظروف الأرض يجب أن يكون عليه كوكب مأهول ، فالعدد هائل بدرجة تدعو للدهشة لو أن قدرا منها ليس مأهولا بالفعل ، حتى لو كان ذلك القدر لا يزيد عن نسبة مئوية ضئيلة . فهذا القدر يمثل بالنسبة لمجرتنا فقط عدة ملايين من الكواكب مؤهلة للحياة كما نعرفها . ناهيك عن بقية المجرات .

مثل هذه الافتراضات ، مع ذلك ، تنبع من نظرة تعصبية للذات ، فلماذا يجب أن تتفق البيولوجيا الغريبة مع معطياتها على الأرض ؟ ألا يمكن للحياة أن تتخذ صورة شتى ، ليست بالضرورة مكونة من البروتينات والأحماض النووية ؟

ان حمض دى. أن. ١٠ ما هو الا واحد من صور لا تحصى من السلسلات الجزيئية الطويلة المؤسسة على كيمياء الكربون . فمن الذى يمكنه توقع التكوينات الأخرى ؟ هل من حقنا أن نجزم بأن هذه التركيبية بالذات هى الوحيدة التى تمثل أساس البيولوجيا ؟ وماذا عن العناصر البديلة للكربون ، كالسيليكون ؟ فعنصر السيليكون مثلا ، رغم كونه ليس فى تعدد مزايا الكربون ، يمكنه أن يقوم بنفس الدور كيميائيا . ان الصور المتاحة من مصادر الطاقة والتفاعلات الكيميائية ، لتؤدى بنا الى أن نعتبر بدائل لا حصر لها . ولكن لكونها جميعا افتراضية ، فهى لا يمكن أن تؤخذ بجدية . والسبب الوحيد فى أخذنا لنموذج البيولوجى المبني على دى. أن. ١٠ هو أننا نعرف كيف يعمل على الأرض .

ولو أن الحياة تأسست بالفعل على كيمياء بديلة ، لأمكنها أن تزدهر فى أشد البيئات شذوذا . وقد أطلق عنان الخيال لصور شيقة عن كائنات تسبح فى بحار النيتروجين على سطح تيتان ، وتزحف فى صحراوات المريخ الجرداء . وفيما وراء النظام الشمسى ، يمكن لبلايين من الكواكب أن تضم شتى الصور الغريبة من أشكال الحياة . وفى الواقع ، فان تقبل فكرة الكيمياء البديلة يدفعنا الى استبعاد الا توجد احدى صور الحياة على كل كوكب من الكواكب . فان التنظيم الذاتى والتعقيد اللذين يشملان

حتى النظم البيولوجية لا يتطلبان أولا وأخيرا سوى نظام مفتوح تسرى فيه الطاقة والانتروبيا ، ومصدر مناسب للطاقة ( وهو ما يعنى عادة فرقا في درجات الحرارة ) \*

### حياة بدون عوالم

وقد تجاوز بعض العلماء حتى مفهوم الكيمياء الغريبة ، واقترحوا فكرة وجود حياة في مكان ما مؤسسة ليس على الكيمياء بأسرها ، بل على عملية ما من عمليات الفيزياء المعقدة . والمثال الواضح هو ما قدمه فريد هويل Fred Hoyle في قصته الخيالية « السحابة السوداء The black cloud » . فقد تصور هويل في هذه القصة سحابة ضخمة رقيقة من غاز بين - نجمي تمثل كائنا مفكرا هادفا ، يتحرك بين النجوم ليتغذى على الطاقات المتاحة .

وفي السنوات الأخيرة أسس هويل نظرية مفصلة مبنية على هذه الفكرة . وبالتعاون مع تشاندرا ويكراماسينغ Chandra Wickramasinghe يذهب الآن الى أن الحبيبات المجهرية التي تكون مادة مثل تلك السحب بين - النجمية ( والتي يتفحصها العلماء مستخدمين الأشعة تحت الحمراء ) هي في الحقيقة بكتيريا متحوصلة داخل أغلفة واقية . ويتحدى الاثنان الفكرة التقليدية بأن الحياة قد نشأت على الأرض ، وأعادوا الحياة لنظرية قديمة وضعها منذ مائة عام العالم السويدي سڤانت ارثينيوس Svante Arthenius ، وهو الذي قام ، بالإضافة للعديد من الأعمال الأخرى ، بعمل حسابات مفصلة عن ظاهرة الصوبة الخضراء . وقد ذهب ارثينيوس الى أن الحياة قد تكون منتشرة خلال المجرة على شكل كائنات مجهرية محمولة على ذرات غبارية وتتحرك بدفع أشعة الضوء . وفي صياغة هويل - ويكراماسينغ ، فإن أعداد هائلة من كائنات مجهرية مختلفة الأنواع تغزو الفضاء بين النجمي ، مستعدة لاكتساح أى جسم مناسب ، ككوكب أو مذنب . وقد يفسر هذا بشكل جميل كيف بدأت الحياة على وجه الأرض بهذه السرعة بعد بدء تكوينها ، وما يتضمنه ذلك من أن كواكب أخرى قد تكون قد غرقت بالحياة بمثل هذه السرعة . وبإعطاء الكيمياء قبل الحيوية بلايين من السنين تمارس خلالها نشاطها على مادة السحب بين النجمية قبل أن يؤذن حتى للأرض أن تتكون ، تجعل النظرية من موضوع الحياة تبرز من اللاحياة بمجرد الصدفة أمرا أقرب للتصديق (٧) . ولكن من الصعب إعطاء وزن كبير على المفهوم الافتراضي تهويل وويكراماسينغ بأن أرضنا تغزوها باستمرار كائنات مجهرية من

الفضاء ، مسئولة عن الموجات الوبائية لأمراض كالانفلوانزا • والاختبار الجوهري لثل هذه الأفكار هو وجود ( أو عدم وجود ) حياة على كوكب المريخ • فحيث ان هذا الكوكب هو المرشح الأول لغزو من هذا القبيل - وأنه من الصعب تخيل كائنات مجهرية يمكنها أن تقاوم الظروف القاسية للفضاء بين - النجمى تفشل فى تثبيت أقدامها هناك - فان كل نتيجة سلبية لاختبار وجود الحياة على المريخ يحسب على النظرية •

كيف اذن يمكن استكشاف الحياة خارج الأرض ، اذا كانت بقية كواكب النظام الشمسى عارية منها ؟ فمسابرنا الفضائية لن تجتازها فى مستقبل قريب • فاذا ما اتضح عقم شقيقتنا من كواكب النظام الشمسى ، هل معنى ذلك أن بطل الموضوع فى طى الخيال العلمى ؟ ربما لا ، حيث انه يوجد طريق آخر لاختبار التصور بأننا لسنا وحدنا فى الكون •

### الغرباء فى الكون

رغم ان اكتشاف أصغر ميكروب فضائى سوف يغير تماما من نظرة البشر للكون ، فان العجب الحقيقى يحيط بإمكانية وجود أشكال أخرى للحياة العاقلة ، ومجتمعات غريبة متقدمة تكنولوجيا • وقد سار كتاب الخيال العلمى طويلا وراء هذه الشطحات ، وربما سائرهم بعض العلماء ، ولكن ، ما الحقائق ؟

على الأرض ، يبدو أن الذكاء مقرون بقيمة عالية للبقاء ، وأنه نتيجة تلقائية للضغوط التطورية • والذكاء ليس مقصورا على الانسان ، فهو موجود فى غيره أيضا كالدلافين • ومن السهل أن نتدفع للاعتقاد بأنه ما أن تدب الحياة حتى تتطور تدريجيا وتلقائيا الى صور أكثر تعقيدا ، بحيث انه حين يشتد الصراع من أجل البقاء يكتسب السلوك الأكثر ذكاء أفضلية أكبر فى عملية الانتخاب • وفى الواقع ، فالقفزة من وحيدة الخلايا الى الانسان تبدو أكثر قربا للفهم عن القفزة من الحساء قبل الحيوى الى حمض دى. أن • وطبقا لفلسفة كهذه ، اذا ما كانت الحياة منتشرة فى أرجاء الكون ، فكذا يكون الذكاء ، وربما أيضا التقدم التكنولوجى • هى نتيجة تفتح باب الأمل فى إمكانية جديدة تماما للكشف عن الحياة خارج الأرض • فبدلا من البحث عن صور الحياة ذاتها ، يمكن البحث عن آثارها التكنولوجية •

والاقتناع بوجود صور مختلفة ( وربما ذكية ) من الحياة على سطح الأرض بمجرد رؤية تل للذمل ، دون رؤية نملة واحدة هو نوع من قصر النظر . ومنذ مائة عام ، كان الفلكي برسيفال لويل Percival Lowell مقتنعا أن مجتمعا متقدما قد أنشأ شبكة قنوات على سطح المريخ . وللأسف ! فإن الأشكال المبهمة التي تخيلها من خلال تلسكوبه اتضح أنها تنتمي للانفعالات النفسية أكثر من انتمائها لحقيقة فيزيقية ، ولكن مبدأ استخدام التلسكوب للبحث عن آثار حضارات أخرى لا تزال قائمة .

كيف يمكن لمجتمع بعيد أن يكشف عن وجوده لنا ؟ أن أقرب نجم ( بعد الشمس ) يقع على بعد أكثر من أربع سنوات ضوئية ( حوالى ٢٤ مليون مليون ميل ) . وأكثر الآراء تفاؤلا لا تتوقع مجتمعا ذكيا أقرب من عشرة ، أو حتى مائة سنة ضوئية . ورصد مثل هذه الحضارات بصريا أمر خارج عن المناقشة .

والأسلوب الأكثر مدعاة للتفاؤل هو الرصد اللاسلكى . فالتلسكوب الراديوى له قدرات وكفاءة تفوق زميله البصرى ، جزئيا بسبب طريقة تجميعها بحيث تتضاعف القوة الرصدية . فبعض مثل تلك النظم تكون مكافئة لهوائى بحجم الكرة الأرضية بأكملها . وللأسف ، فما من جهاز على سطح الأرض له حساسية تمكن من التنصت على إشارة فى مستوى ما تلتقطه أجهزة التلفاز والمذياع المنزلية ، حيث ان الالتقاط يتم من كافة المصادر المحيطة بالكرة الأرضية . ويختلف الأمر كثيرا لو تركز الالتقاط من مصدر بعينه ، وللتلسكوب اللاسلكى المركب فى المرصد الراديوى بالقرب من أريكيبو Arecibo بدولة بورتوريكو مقدرة على الاتصال بجهاز مماثل فى أى مكان بالمجرة ، لو فقط علم فى أى اتجاه نتوجه بالارسال أو التنصت . فالتكنولوجيا الأرضية اذن قادرة على إقامة اتصال مع أية حضارة توازيها تقدما فى المجرة . وقد سيطرت فكرة التخاطب عبر اللاسيكى على خيال كثير من العلماء وغير العلماء على السواء ، رغم كونها مدعاة للكثير من الاعتراضات . فما الذى يدفع « هؤلاء القوم » لتجشم الارسسال لنا ؟ وكيف يعلمون بوجودنا أصلا ، وأن لدينا من التكنولوجيا ما يمكننا من استقبال اشاراتهم ؟ وعلى أية حال ، فما الجدوى من مثل هذا الاتصال طالما أن سرعته محدودة بسرعة الضوء ، فتستغرق الرسالة بذلك عقودا ، أو أكثر ، من السنين ؟ وأيضا ، لماذا يستخدم « هؤلاء القوم » اللاسلكى ، وليس تكنولوجيا أكثر تقدما لم نوفق

لاكتشافها بعد ؟ ربما تكون هناك شبكة اتصالات كونية تعمل بالفعل بين حضارات أكثر تقدما منا ، ونحن غير واعي لها .

### البحث عن مخلوقات الفضاء

لم تشبط هذه الاعتراضات من عزيمه أنصار الاتصالات الفضائية للأسباب الآتية ، ان عمر الأرض الآن ٥ر٤ بليون عام ، حوالى ثلث عمر المجرة لا غير . وقد تطلب الأمر ٤ بلايين عام لتتطور الحياة على الأرض من الكائنات المجهرية الى عصر التكنولوجيا الحديثة . فلو أن الحياة قد تطورت بهذه السرعة فى الكواكب التى سبقت الأرض فى التكوين فى المجرة ، فان تقدمهم التكنولوجى سيكون قد ازدهر قبل تكوين الأرض بمدة طويلة . والامكانات المحتملة لحضارة سبقت الأرض بآلاف ، أو ملايين ، أو حتى آلاف الملايين من السنين لا يمكن تخيلها . ولعل مسألة مثل مخاطبة كل نظام نجمى فى المجرة تعتبر تافهة بالنسبة لهم . أما عن معرفتهم بنا ، فلا ننسى أننا تسببنا فى بث اشارات لاسلكية عبر الفضاء تصل فى انتشارها الى خمسين سنة ضوئية حتى الآن ، وما من شك فى أن حضارة بالتقدم الذى نتصوره قادرة على أن تحس بهذه الضوضاء التى بثت فى الفضاء ، حتى لو كانت امكاناتنا نحن لا تسمح لنا بذلك . وبتاريخ يبلغ آلاف وآلاف السنين ، فلعل عدة عقود فى مدة التراسل مقبولة لهم ، حتى ولو كانت فترة حياة الفرد منهم فى مثل عمرنا المتوسط ، وهو أمر خلىق بالآلة يعتقد به . وبالإضافة لذلك ، فان مجتمعا بمثل ذلك النطور ، حين يحاول إقامة اتصال بمجتمع ما يزال بحبو فى تطوره التكنولوجى ( نحن ) ، فبالأكيد أنهم سيلجئون الى أكثر الوسائل احتمالا ، وهو اللاسلكى .

ولو افترضنا أن شخصا ما هناك يحاول الاتصال بنا ، فان العقبة الكبرى فى استخدام اللاسلكى هى اختيار ذبذبة التراسل . فمع المدى اللاسلكى بأكمله ، كيف لنا أن نعرف الموجة التى سوف يخاطبونها عليها ؟ فى هذا الخصوص قدم جيوسى كوكونى Giuseppe Cocconi وفيليب موريسون Philip Morrison من معهد Messachusetts Institute of Technology معهد التكنولوجيا بماساشوتش اقتراحا وجيها . ان أى مجتمع له خبرة فى مبادئ الفلك الراديوى يجب أن يكون على دراية بالخلفية الراديوية التى تصدرها سحب الهيدروجين حول الأذرع اللولبية لمجرة درب التبانة . ان هذا « الهمس » هو أول ما يستمعه راصد لاسلكى . فأى تردد أكثر منه تلقائية فى الاستخدام فى الاتصال عبر الفضاء

( أو ربما نصفه أو ضعفه لتلافى تداخل ذلك « الهمس » ) يمكن اختياره ؟  
هذا اذا كان رفاقنا في الفضاء يفكرون في نفس خط كوكبوني  
وموريسون . . . . .

وقد بلغ الحاس للاتصال بالمخاوقات الفضائية ببعض الفلكيين درجة  
اتخاذ بعض الخطوات الفعلية . وقد بينت نتائج تحليل القدر الضئيل  
من الاشارات المستقبلية من النظم النجمية القريبة عن عدم وجود ما يمكن  
اعتباره اشارة لحضارة عاقلة . ويتطلب تحقيق قدر معقول من النجاح  
مجهودات أكثر طموحا وشمولية . وقد قام فلكيو الراديو بجسارة بإرسال  
دفعة اشعاع راديوى من مرصد أريكيبو تجاه كوكبة هائلة من النجوم ،  
فى عمق درب التبانة ، ينتظر ، بسبب تشتتها فى رحلتها البالغة عشرة  
ملايين سنة ضوئية ، أن تستقبل من أى كوكب يتصادف أن يكون دوارا  
حول نجم من الآلاف المكونة للكوكبة . وعلى العموم ، فان موضوع الاتصال  
بالكائنات الفضائية العاقلة يعتبر أمرا خلافيا بحيث لا يسمح الا بقدر  
ضئيل من وقت المراصد الراديوية يخصص له ، ناهيك عن اقامة شبكات  
ضخمة من المراصد الراديوية كما يتطلب لأبحاث جادة فى الموضوع .

### اين هم ؟

أحد أكثر النتائج المستخلصة من تحليل بسيط لاحتمال وجود  
مجتمعات خارج الأرض اثاره للتمعن ، يتعلق بعدد الحضارات المتقدمة  
تكنولوجيا والمحتملة وجودها فى المجرة . ان النجوم والكواكب لا تفتأ  
تتكون ، ولما كانت نشأة حياة وتطورها أمرا محتملا لكل كوكب مناسب ،  
فان ذلك يعنى ظهور عدد أكثر وأكثر من الحضارات باستمرار .  
وبنظرة متفائلة ترى فى ذلك أمرا محتوما لكل كوكب يدور حول نجم  
كالشمس ، فان معدل وصول مجتمع جديد لمستوى الاتصال الراديوى  
عبر الفضاء يكون حالة لكل عقد من السنين ، عقد على مدى عشرة بلايين  
عام سابقة على تكوين الأرض ، على اعتبار أن المجرة عمرها أربعة عشر  
بليون عام ، والأرض أربعة بلايين من الأعوام .

وهذه نتيجة مذهلة ، تعنى أننا ، ولما يمض على اكتشافنا للاتصال  
اللاسلكى سوى عدة عقود من السنين ، حديثون للغاية فى النادي اللاسلكى  
الكونى فى حالة تواجده . أما بقية الأعضاء فعلى قدر أكبر من التقدم فى  
هذا المجال .

على أن عددا من مثل هذه المجتمعات يعتمد اعتمادا شديدا على العمر  
المفترض للحضارات المتقدمة ، وعلى معدل المواليد . فلو أن الأرض دمرت

غداً ، وأن حالتنا تمثل نموذجاً قياسياً ، فيعنى ذلك أن حضارة واحدة فقط فى المتوسط هى القادرة على الاتصال اللاسلكى عبر الفضاء على مستوى المجرة فى كل فترة زمنية محددة . ومعنى ذلك أننا المحتلون لهذا الوضع حالياً ، وفى عزلة تامة ، فنحن أكثر الحضارات تقدماً فى المجرة بأكملها فى وقتنا هذا . أما إذا كان العمر الافتراضى للحضارة المتقدمة هو عشرة بلايين عام ، فإن ذلك يعنى حوالى مليون حضارة منها تقطن درب التبانة فى نفس الوقت ، أغلبها قطعت أشواطاً أكبر فى التقدم منا .

وهذا يثير التساؤل الصعب والمثير الذى صاغه صراحة لأول مرة الفيزيائى انريكو فيرمى Enrico Fermi ، والذى ، من بين أعمال أخرى، أعطى النيوتريينو اسمه . إذا كانت الحياة بمثل هذا الانتشار عبر المجرة على اتساعها ، فمن الصعب علينا أن نتصور لماذا لم تنشأ الحضارات المتقدمة من مليون من الأعوام . ألم يكن حرياً بها أن تكون قد استعمرت المجرة بأسرها فى الوقت الحاضر ؟

ولنتصور كيف يتحقق ذلك . تخيل أن حضارتنا قد شيدت مركبة فضاء هائلة ، وزودتها بالطاقة اللازمة لبقاء الحياة على متنها عدة آلاف من السنين . وليس ذلك عصياً على حضارتنا اليوم ، لو كانت هناك ارادة لذلك . سيبدأ عدد من المغامرين فى الانطلاق بسرعة متواضعة ، بحثاً عن موضع جديد لهم . وبالسّعة المتاحة حالياً ، يتطلب الوصول الى أقرب نجم عشرة آلاف عام . المهم أنه بعد عدة آلاف من السنين سيكون كوكب جديد قد استعمر ، وبعد مدة مماثلة يكون قد ازدحم ، فتبدأ مرحلة جديدة من الهجرة ، وهكذا .

وباتباع سياسة كهذه ، فإنه بعد عشرة ملايين عام لا غير ، وهى فترة وجيزة بالمقاييس الفلكية ، تكون المجرة البالغ اتساعها مائة ألف سنة ضوئية قد استعمرت بالكامل . وفى تصور آخر ، يمكن لمن سيوكل اليهم استعمار المجرة أن يرسلوا بدلاً منها مسابر من اناسى آلية ( روبوتات ) ، وهو ما يتجاوز امكانات حضارتنا الحالية بقليل ، تحمل مواد جينية ( بعض من بويضات وحيوانات منوية مجمدة ، أو بيض مخصب متجمد ، أو حتى جزيئات حيوية مصحوبة بالمعلومات الجينية مكودة فى ذاكرة الروبوت لتنشط فى تخليق ال د . ن . آ . بمجرد الوصول ) بحيث تبذر الحياة - بالمفهوم الحرفى - فى تربة الكوكب المناسب عند وصولها .

ورغم أن الكثيرون قد يشكون في أن تجد حضارة ما الدافع للقيام بهذا العمل ، حتى ولو تمكنت من القيام به تكنولوجيا ، فلنتذكر انه يكفي أن تقدم على ذلك حضارة واحدة على هذه المغامرة ، خلال عمر المجرة البالغ أربعة عشر بليوناً من الأعوام ( أى حضارة من بين بليون حضارة محتملة ، طبقاً للأرقام التي أوردناها ) ونجد المجرة قد امتلأت بنسلها الآن . إذن ، فأين هم ؟

والمشكلة تبدو مستعصية بالنسبة لمن يؤمنون بوجود الذكاء في مكان ما من الكون . ربما هم هنا بالفعل ، ولكننا أقل من أن نشعر بهم ، كالنمل يمضي في حياته غير واع لوجود جنس من البشر يلحظهم . ربما ، كما يحلو للمهووسين بالكائنات الفضائية الغامضة أن يدفعونا للاعتقاد به ، تكون الأرض تحت ملاحظة دقيقة من البعد ، يحول بيننا وبين الاحساس بها سبب نجهله . أو ربما يوجد ميكانيزم ذاتي يؤدي لتدمير أية حضارة تتجاوز قدراً معيناً من التقدم ، قبل أن تدخل عصر الغزو الفضائي . ربما تكون نفس القوى التطورية المؤدية لزيادة الذكاء مؤدية أيضاً للعدوانية ، بحيث تنتهي الحضارة بالفناء النووي أو ما أشبهه ، أو بتدمير البيئة وفساد مقدرة الكوكب على الحفاظ على بقائه . وبقدر أقل من الاحتمالات الكثيرة قد يكون السفر عبر الفضاء محاطاً بمشاكل لم نعرفها بعد . وأقل من ذلك احتمالاً أن تكون الحياة على الأرض حالة خاصة بحيث لا تكون الأرض مضيافة لصور أخرى من الحياة . وبالتأكيد لا يمكن أن نكون الوحيدين من ذوى الحضارة التكنولوجية على مستوى المجرة ، أو الكون !

### من المادة الى العقل

في مقال ظهر في أواخر الثمانينيات ، بعنوان « المعلومات ، الفيزياء ، الكم ، البحث عن الروابط Information, Physics, Quantum » The search for Links : ذهب الفيزيائي جون هويلز الى أنه لا مفر من استخلاص أن « العالم لا يمكن أن يكون آلة هائلة ، يحكمها قانون فيزيائي مفروض سلفاً » . بل الأكثر دقة في رأيه أن نفكر في الكون الفيزيائي كنظام مهول من نظم معالجة المعلومات ، لم تحدد مخرجاته بعد .

وتجسيدا لهذا التغير الجذري في منهج التفكير ، أطلق هويلز الشعار : « It from bit » (٨) ، بمعنى أن كل . . ، ويقصد بها أى جسيم ، أو مجال لقوى ، أو حتى زمكان ، يثول في النهاية الى ( بتات ) ، أى وحدات معلومات .



وعمليات العلم هي عمليات استجواب للطبيعة ، فكل تجربة قياس ، وكل ملاحظة ، يستخلص منها رد من الطبيعة على هيئة وحدات من المعلومات . ولكن طبيعة الكم في أساسها قد جعلت كافة القياسات والملاحظات تؤول الى اجابة من اثنتين : نعم ، و لا . هل الالكترون في طاقته الدنيا ؟ نعم . هل لف الالكترون متجه لأعلى ؟ لا . وهكذا . وبسبب عدم اليقين المبني في أعماق فيزياء الكم ، فانه ليس من الممكن التنبؤ بالاجابة سلفا . والأكثر من ذلك ، وكما قدمنا في الفصل السابع ، فان للمشاهد دورا جوهريا في مخرجات قياسات عمليات الكم ، الاجابات ، وتعتمد طبيعة الحقيقة المستخلصة في جزء منها ، على الأسئلة المطروحة .

وهويلر من أشد أنصار مبدأ « الكون المتشارك participatory universe » ، والذي يعنى أن المشاهدين يمثلون المركز في تحديد طبيعة الحقيقة الفيزيائية ، وأن المادة محال أمرها للعقل . ويعتبر فرانك تيبيلر Frank Tipler من جامعة تولين Tulane بنيو أورليانز ، من أنصار نفس الأفكار أيضا ، الا أن موقفه مختلف . فهو يرى أن دور المشاهد لما يزل هامشيا ، ويعتقد أن الذكاء سوف ينتشر في النهاية عبر الكون ، مساهما بدرجة أكثر وأكثر في أنشطة الطبيعة ، حتى يصل الى تلك الدرجة التي يصبح بها هو نفسه الطبيعة .

وطبقا لآرائه ، فالحياة الذكية ، أو ربما أقرب للصحة شبكة من الحاسبات ، سوف تنتشر من كوكب ما ( ربما الأرض ) وتتسع في سيطرتها ببطء ولكن بثقة ، ليس فقط على النظام الشمسى ، أو المجرة ، بل على الكون بأسره ، وهو تصور يحاكي ما ذهب اليه اليسوعى بيير تايهارد دي شاردين Pierre Teilhard de Chardin ولكن مع جعل التكنولوجيا هي العامل الحاسم . وعلى الرغم من الاحتمال أن تستغرق العملية تريليونا من الأعوام ، فان أوج هذا التحول التكنولوجى لماهية الطبيعة يتمثل في دمج الكون بأسره في نظام معلوماتى واحد ! وعمليا ، يكون الذكاء قد اختطف النظام المعلوماتى الطبيعى الذى نطلق عليه الكون، واستغله لصالحه .

ونحن نذكر هذه الأفكار التى نقر بظنيتها لنبين التغير العميق فى المنظور الذى صاحب عصر ما بعد الآلية كنمط للتفكير . فبدلا من مادة شبه متحركة فى آلة نيوتن المترامية الأطراف ، لدينا شبكة مترابطة من تبادل المعلومات ، نظام مفتوح شمولى غير قطعى ، مزدهر بالامكانات

ومتمتع بشراء لا ينضب . وان العقل البشرى لنتاج ثانوى من هذه العملية المعلوماتية الشاسعة ، ولكنه نتاج ثانوى قادر على فهم أبعاد العملية ، على الأقل جزئيا .

وقد أسس ديكارت صورة العقل البشرى كنوع من مادة هلامية توجد على استقلال عن الجسد . وفى مرحلة متأخرة بكثير ، سخر جيلبرت رايل Gilbert Ryle من هذا الازدواج بإشارة للجزء العقلى بـ « الشبح فى المادة » . وقد عبر رايل عن نقده اللاذع خلال مرحلة من أوج انتصار المادية والآلية .

و « الآلة » التى أشار إليها كانت الجسد البشرى والعقل البشرى ، باعتبارهما مجرد أجزاء فى آلة كونية أكبر . ولكن حين أطلق هذا التعبير البليغ ، كانت الفيزياء الحديثة تشق طريقها ، هابطة بالنظرة للعالم التى كانت الأساس لفلسفته . واليوم ، وعلى حافة القرن الواحد والعشرين ، يمكننا أن نرى أن رايل كان على حق فى رفض ذلك الشبح فى الآلة ، ليس لعدم وجود الشبح ، بل لعدم وجود الآلة .

## هوامش الفصل العاشر

- (١) مشتقة من الكلمة الاغريقية بمعنى « نهاية » - ( المترجم ) .
- (٢) الهة الأرض عند الاغريق - ( المترجم ) .
- (٣) وهو في الواقع تعبير اخم عن مبدأ التنظيم الذاتي للنظم المعقدة ، حية كانت أو غير حية .
- (٤) الجزئيات « العضوية » هي جزئيات تحتوى على الكربون ، وهو عنصر له خاصية متميزة لتكوين جزيئات أكثر تعقيدا بالترايط بذرات عناصر أخرى أهمها الهيدروجين . هذه الجزئيات المعقدة مرتبطة بالأجسام الحية ، ومن ثم كانت تسميتها ، ولكنها يمكن أن تنتج أيضا بطرق أخرى ، ولذا فهي وإن كانت ضرورية لوجود الحياة ، فإنها ليست دليلا قاطعا على وجود الحياة .
- (٥) حازا على جائزة نوبل عام ١٩٦٢ ( المترجم ) .
- (٦) فمصيصة للفيلة تقام في كيويك بكندا قد لا تقتصيد أية فيلة ، ولكن ذلك لا ينفي وجود الفيلة على سطح الأرض .
- (٧) أقرب للتصديق نظريا ، حيث انه يوجد وفرة من الزمن ، ولكننا أصعب تصديقا من الناحية النظرية ، حيث ان المدى الواسع للظروف الفيزيائية والكيميائية على مستوى المجرة ككل يجعل من الصعب معرفة من أين يمكن البدء لوضع نظرية تفصيلية لنشأة الحياة .
- (٨) كلمة bil تعنى وحدة المعلومات ، وتترجم « بت ، أو بته » . أما الشعار نفسه فنرى عدم ترجمته ، حيث سيفقد معناه ككل العبارات المسكوكة المعتمدة على التلاعب اللفظي - ( المترجم ) .



## كشاف

- اوكسفورد ، جامعة : ١١٦  
 ابوللو : ٤٤  
 اتصال : ٢٢٢  
 اتصالات ، الشبكة العالمية : ٢٠  
 اثير : ٢٧ ، ٢٨ ، ٣٠ ، ٦٧  
 اجرام سماوية ، حركة : ٢٢ ، ٢٣  
 اجسام ساقطة سقوط حر : ٤٣ ، ٨٠  
 اجسام فضائية غامضة : ١٨٨  
 اجسام مادية : ٦٨  
 اجسام مرئية : ١٥ ، ١٨ ، ١٧٤  
 اجسام مضادة : ١٣٠  
 احصائية ، نظم : ٣٣  
 احماض امينية : ٢٣٤ ، ٢٣٥ ، ٢٣٦  
 احماض نووية : ٢٣٩  
 اختيار مؤجل : ١٧٨  
 اندجتون ، السير ارثر : ٧٨ ، ٨٧ ، ٢١٥  
 ادنى ، طاقة : ٥٤  
 اذاعة ، موجات : ٢٧  
 ارنفيوس ، سفانت : ٢٤٠  
 ارسطو : ٢٣٠  
 ارسطى ، مفهوم : ٩٣  
 ارض ، انبعاث : ٦٤  
 ارض ، سرعة : ٦٦ ، ٦٧  
 ارض : ٦٩ ، ١٠١  
 ارض ، الغلاف الهوائى : ١٣٥  
 ارض ، حواف : ١٠٤  
 ارض ، نظام مفتوح : ١١٢  
 ارضية ، اهتزازات : ١٦١  
 اوريا : ٢٠  
 اريكييو ، مرصد : ٢٤٢ ، ٢٤٤  
 اسبكت ، الان : ١٨٥  
 اسبكت ، تجربة : ١٨٦  
 استراليا : ٢٠ ، ٢١  
 استواء ، خط : ٦٤  
 اسلامى ، علم : ٢٩  
 اسيية ، ٣٦  
 اشعاع ، حرارة : ١٢٧  
 اشعاع : ٦٧ ، ١١٣  
 اشعاعى ، نشاط : ١٦٧  
 اشعة كونية : ١٣٣  
 اصطناعى ، ذكاء : ١٩٠  
 اطار اسناد : ٢٧ ، ٦٤ ، ٧٦ ، ٨٠  
 اعادة استنظام : ٢٠٠  
 اغريق : ٥٩  
 ائق احداث : ٢١٩  
 اقزام بيضاء : ٢١٥  
 اقليدس : ٥٩  
 اكس ، اشعة : ٦٧ ، ٢١٨  
 اكسجين ، نواة : ١٣٠ ، ١٣١  
 اكسيون : ١٥٢  
 اكوان متعددة : ١٨٢ ، ١٨٧  
 اكوان وليدة : ٢٢٨  
 اكوان اخرى : ٩٩  
 الان ، طبيعة : ١٠٩  
 الان جنينيه : ١٧  
 الان ، عصر : ١٦  
 الان ، طبيعة : ١٠٩  
 الان : ٧٤  
 الان ، مفهوم : ٥٩  
 التواء : ٥٣  
 دليل : ٢٠  
 انفا ، اشعاع : ١٧٢  
 انفا ، انحلال : ١٦٧  
 الفا جسيم : ١٦٨ ، ١٧٢ ، ١٨١  
 النين ، هانز ، ١٣٥  
 الكترون ، مجال كهربى : ١٩٨  
 الكترون ، موجة : ١٧٥ ، ١٨٠  
 الكترون : ٢٤ ، ٢٨ ، ٧٦ ، ١١٣ ، ١٢٢ ، ١٢٤ ، ١٣٧ ، ١٥٢ ، ١٦٨ ، ١٦٩ ، ٢١٠  
 الكترون ، جسيم : ١٣٠  
 الكترون ، طاقة سالبة : ١٣٢  
 الكترون ، كتلة : ١٣٣  
 الكترون ، سرعة : ٧٧  
 الكترون ، طاقة : ١٧٠  
 الكترونات ، مستويات الطاقة : ١٩٦  
 الكترونيات : ٥١  
 الكترونية ، أجهزة : ٥٢  
 الكترونية ، موجات : ١٧٣  
 الامريكية ، الولايات المتحدة : ٢٠ ، ٦٧  
 اليابان : ٢٠

- امراض فيروسية : ٢٣٢  
امونيا : ٢٣٤  
انبوبة عظمى : ٢٠٥  
انتاركتيكا : ٢٣٧  
انتخاب طبيعي : ٢٣١  
انثروبيا منخفضة : ١١٤ ، ١٢٤  
انثروبيا : ١١٠ ، ١١١ ، ١٦٦ ، ٢٤٠ ،  
انثروبيا سالبة : ١١٢  
انثروبولوجي ، مبدأ : ١٩٢  
انثوي ، علم ، ٢٩  
انجلترا ، ٢٢٣  
انزياح تجاه اللون الاحمر ، ١٥٨  
انزياح احمر : ٩٣ ، ١٠٠ ، ١٠٣  
انزيمات ، ٢٣٥  
انسان ، الحرية الشخصية ، ٤٢  
انسحاق عظيم ، ١٥١  
انفجار عظيم ، عهد : ١٩٠  
انفجار عظيم : ٨٦ ، ٩٤ ، ٩٥ ، ١٠٠ ، ١٠٧ ، ١٠٨ ، ١٠٩ ، ١١٣ ، ١١٦ ، ١٢٣ ، ١٢٤ ، ١٣٤ ، ١٣٦ ، ١٤٢ ، ١٤٤ ، ١٤٧ ، ١٥١ ، ١٥٢ ، ١٥٣ ، ١٥٤ ، ٢٠١ ، ٢٠٨  
انفجار عظيم ، مفهوم : ١٠٦  
انفجار عظيم ، نموذج تضخمى ١٤٤  
انفلوانزا ، مرض ، ٢٤١  
اهليلجي ، مسار شبة : ٣٧  
اوتار فلكية : ١٦٣ ، ١٦٦ ، ١٧٨  
اوليزر ، جيرمان : ١١٣  
اير : ١١٨  
ايرنست : جورج : ٢٦  
اينشتاين ، مسلمة : ٦٨  
اينشتاين ، معادلة : ٨٥  
اينشتاين ، نظرية : ٨٣  
اينشتاين : ٢٨ ، ٣٠ ، ٥٩ ، ٦٦ ، ٦٨ ، ٧٤ ، ٧٨ ، ٨٠ ، ٨٤ ، ٨٧ ، ٩٤ ، ٩٧ ، ١٢٠ ، ١٣١ ، ١٦٠ ، ١٦٣ ، ١٨٣  
اينشتاين ، الصورة الكمية لمعادلة : ١٣٣  
اينشتاين ، نظرية الجاذبية : ٢٠٤  
( ب )  
باب اخضر ، قصة : ٩٦  
باركلي ، جورج : ٦٥  
بارميندس : ١٥  
باريس : ١٨٥  
باستير ، لويس : ٢٣٣  
باولي ، مبدأ استبعاد : ١٣٢  
باوني ، ولفجانج : ١٣٢  
بقات : ٢٢٩ ، ٢٤٦  
بحث عن رواية معلومات ، فيزياء الكم : ٢٤٦  
بديهي ، منطق : ٢٣ ، ٩٧  
برجماتي ، منهج : ٨٩  
برنستون : ٨٥  
برنسيبا ، كتاب : ١٦  
بروانية ، حركة : ٣٤ ، ٤١  
بروتون : ٢٤ ، ١١٣ ، ١٢٨ ، ١٣١ ، ١٣٣ ، ١٣٨ ، ١٥٢ ، ١٩٧ ، ٢٣٤ ، ٢٣٩  
بروتون ، انحلال : ٢١١  
بروتون ، تحليل ، ١٣٧  
بروتون ، مضاد ، ١٣٣  
بروتونات ذات شحنة موجبة ، ١٢٩  
بروتونات عالية السرعة : ١٢٨  
بريجوجين ، ايليا ، ٣٣ ، ٤٣  
بشر مضادون : ١٣٤  
بشري ، عقل : ٧١ ، ٧٢ ، ٩٦  
بعد زمني : ٨١ ، ٩٠  
بعد مكاني : ٩٠  
بعيدة ، مجرات : ٦٤ ، ٨٤ ، ١٠٠  
بعيدة ، نجوم : ٨٥ ، ٨٦  
بكنيريا : ٢٣٧  
بن ، جون : ١٨٥  
بل ، متباينة : ١٨٥  
بلازما : ٥١  
بلانك ، ثابت : ١٧١ ، ١٧٥  
بلانك ، زمن : ١٢٣ ، ١٤٤  
بلانك ، مسافة : ٢٢ ، ١٤١  
بلورة : ١٧ ، ٥١ ، ٥٢ ، ١١٠  
بندول حر الحركة : ٣٦  
بندول ، حركة : ٣٥ ، ٣٧ ، ٤١  
بندول : ٤٠  
بنزور ، روجر : ٩٤ ، ١١٦  
بوانكاريه ، هنري : ٣٥  
بودولوسكي ، بورييس : ١٨٤  
بوزون : ٢٠٣  
بوزيترون : ١٣٤ ، ١٣٥ ، ١٣٧  
بوصلة ابرة : ١١٧ ، ١١٨  
بولارون : ٥٢  
بولتزمان ، لودفيج : ١١٠ ، ١١٢  
بوليكوف ، الكسندر : ٥٦  
بوم ، دافيد : ٣٠  
بوتدي ، سير هيرمان : ٨٧

ثقوب الديدان الميكروسكوبية :

٢٢٦

ثقوب انكم الذودية : ٢٢٨

ثقوب سوداء مجهرية ، فضاء

انفجاري : ١٣٨

ثقيلة ، ذرات : ٧٦

ثنائي نفقي : ١٧٣

ثورة صناعية : ١٦ ، ١٧ ،

١٩ ، ٢٠

ثورن ، كيب : ٢٢٢

### ج

جاذبية أرضية : ٤٣

جاذبية ، تأثير : ٧٨ ، ١٤٥

جاذبية ، حاجز : ١٤١

جاذبية ، قوة : ٧٨ ، ٩٠ ،

١٥٤ ، ٢١٤

جاذبية مضادة : ١٠٨ ، ١٤٢ ،

٢٢٢ ، ٢٢٥

جاذبية ، معادلات : ١٢٠

جاذبية ، موجات : ٨٣ ، ١٦٠ ،

١٦١ ، ١٦٢ ، ١٦٣ ، ١٦٤ ،

١٩٧ ، ١٩٨

جاذبية ، نظرية عن : ٧٧ ،

١٥١

جاذبية : ١٧ ، ١١٤ ، ١٤٠ ،

١٤٥ ، ١٤٨ ، ١٩٣ ، ١٩٧ ،

٢١٤

جاليليو : ٢٢ ، ٦٠

جاموف ، جورج : ١٦٨

جاوس ، كارل : ٨٢

جرافيتون : ١٩٨ ، ٢٠٠ ،

جرافينينو : ١٥٢ ، ٢٠٤ ،

جزيئي ، تركيب : ٢٣٦

جزيئي ، مستوى : ٣٤

جسم كروي منفرد : ٦٥

تقليدي ، نموذج : ١٤٤

تكاملية ، مبدأ : ١٧٤

تكساس ، جامعة : ١٧٧

تكيسلوب ، اختراع : ٢١٧

تليسكوب فضائي : ٢٣٩

تمدد فجائي عنيف : ١٤٤

تمدد ، مركز : ١٠٢

تناظر : ٢٠٠

تنجسكا : ١٣٩

تهوفت ، جيرارد : ٥٦

تواريخ بديلة : ١٨٢

توافقيات : ١٢٦

تواقت : ٥٩ ، ١١٧

توزيع منتظم لخلفية اشعاعية،

١١٦

توزيع منتظم لكون بدائي :

١١٦

توصيل فائق ، حالة : ٥٤

توصل فائق ، ظاهرة : ٥٣

تولين ، جامعة : ٢٤٧

تيبار ، فرانك : ٢٤٧

تيتان ، سطح : ٢٣٩

### ث

ثابتة ، نجوم : ٦٦

ثرمو ديناميكي ، حالة توازن ،

ثرمو ديناميكي ، عدم توازن

: ١١٥

ثقب أبيض : ٢٢١

ثقب أسود : ٧٧ ، ٨٠ ، ٩٥ ،

٩٦ ، ١١٥ ، ١١٦ ، ١٢٩ ،

١٦٤ ، ١٦٥ ، ٢١١ ، ٢١٣ ،

٢١٤ ، ٢١٨ ، ٢٢٠ ، ٢٢٣ ،

ثقب لودي : ٢٢٣ ، ٢٢٤ ،

٢٢٥ ، ٢٢٨

بهر ، نيلز : ٢٩ ، ١٧٠ ،

١٧٥

بيولوجيا ، علم : ٢٣٣

بيولوجيا مادية : ١٧

بيولوجيا : ١٧ ، ٢٥ ، ٤٧ ،

٥٧ ، ٢٣٠

بيولوجيا ، أنشطة : ٢٣٢

بيولوجيا ، عمليات : ٢٣٤

بيولوجية ، نظم : ٢٤٠

بيون : ١٢٨ ، ٢١٠

### ت

تأثير تجاذبي : ١٤٢ ، ١٥٦ ،

١٥٩

تابلور ، جون : ٢١٣

تجاذبي ، انهيار : ٢١٨

تجاذبي ، مجال للكون : ٨٤

تجاذبي ، مجال : ٨٤ ، ٢٢٣

تجارب ذهنية : ١٨٤

تذبذبات عشوائية : ١٢٥

تذبذبات كمية : ١٤١

تركيب ذري : ١٧٠

تسارع : ٦٥

تشتت : ٤٨

تشويه طوبولوجي : ١٥٥

تضخم فلكي : ٨٧

تضخم ، تمدد مفاجيء :

١٤٣

تضخم ، سيناريو : ١٤١

تضخم ، نموذج : ١٤٤

تضخمية ، مرحلة عنيفة : ١٤٣

تضخمية ، مرحلة : ٢٢٧

تضخمية ، نظرية : ٨٧ ،

١٥٤ ، ١٤٨

تطور ، نظرية : ٢٥

تعدد اكوان ، فكرة : ٩٥

تغير جيني : ٢٣١

- جسم مرئي : ١٥٨ ، ٢١٨  
جسم تقديري : ١٢٥ ، ١٢٨ ، ١٤١ ، ١٩٥ ، ١٩٦ ، ٢١٠  
جسيم مضاد : ١٣٧  
جسيمات ، اندواج : ١٣٦  
جسيمات افتراضية : ١٩٧  
جسيمات تقليدية : ٢٠٧  
جسيمات العالم دون الذري : ٢٠١  
جسيمات المادة الصماء : ٢٢٩  
جسيمات النيوتريو : ٢١٨  
جسيمات أولية : ١٨ ، ٢٤ ، ٢٩ ، ٣١ ، ٤٧ ، ٥١  
جسيمات بيولوجية : ٢٥  
جسيمات ثانوية دون ذرية : ١٣٣  
جسيمات حقيقية : ١٣٠  
جسيمات دائمة : ١٤٢  
جسيمات دون ذرية : ٢٤ ، ٥٤ ، ٥٦ ، ٧٦ ، ١٢٩ ، ١٧١ ، ١٨٤  
جسيمات ذرية : ١١٣  
جسيمات عالية الطاقة : ١٣٨  
جسيمات غريبة غير مرئية : ١٥٢  
جسيمات مادية حقيقية : ٢٠٤  
جسيمات متكاملة : ١٦  
جسيمات مضادة : ١٣٣ ، ١٣٤ ، ١٣٥ ، ١٣٦ ، ١٣٧ ، ١٣٨  
جسيمات : ١٢٤  
جسيمات منفردة : ١٣٠  
جسيمات : ١٢٤  
جلونات : ١٩٧ ، ٢٠٢  
جمعية ملكية بادنبره : ٤٧  
جنينية ، شفرة : ٢٥  
جوث ، الان : ١٤٦  
جودل ، كورت : ٨٥  
جوديل ، كون الدوار : ٩٩  
جوزيفسون ، وصلة : ٥٢  
جيروسكوب : ٨٦  
جيلدر ، جورج : ١٩ ، ٢٠  
جيني ، كود : ٢٣٥  
جنينية ، معلومات : ٢٤٥  
جنينية ، مواد : ٢٤٥  
ح  
حاسب آلي : ٣٥ ، ٥٠ ، ٥٧  
حديث بزوغ علم : ٦٠  
حديث ، علم : ٧٧ ، ١٩٢  
حديث ، تكنولوجيا : ٢٤٣  
حديث ، فيزياء : ٨٩ ، ٩٦ ، ١٣٩ ، ١٩٣ ، ٢٤٨  
حديد : ١١٣  
حراري ، اشعاع : ١٧٠  
حراري ، موت : ١٠٩ ، ١١٥  
حرارية ، اشعاعات : ٢٢  
حرارية ، ديناميكا : ٢٣  
حركة حقيقية وظاهرية : ٦٢  
حركة دائرية : ٦٢  
حركة غير منتظمة : ٨٢  
حركة قوانين : ١١٠  
حركة متغيرة : ٦٢  
حركة منتظمة : ٦٢  
حركة : ١٢٤  
حزوز التداخل : ١٧٥ ، ١٧٦  
حفرات : ٢٦  
حقيقية ، اعداد : ٤٠  
حية ، كائنات : ١٧  
حيوي ، حساء : ٢٣٨  
حيوي ، مجال : ٢٣٢ ، ٢٣٣  
حيوي ، مذهب : ٢٥  
حيوي ، نظرية المذاهب : ٢٥  
حيوية ، مواد : ٢٣٤  
خ  
خامدة ، مادة صماء : ٥٧  
خروج سلس ، ١٤٧  
خطية ، علاقة : ٤٤  
خطية ، نظم معقدة : ٤٥  
خطية ، نظم : ٤٤ ، ٤٥ ، ٤٦  
خلفية اشعاعية كونية : ٨٦ ، ١٣٧ ، ١٤٣ ، ١٥٣ ، ١٥٨  
خلفية اشعاعية : ١١٤  
خوارزم ، ٢٩  
خيال علمي : ٩١ ، ٢٤١  
د  
دون : ١٠ ، ٢٥ ، ٢٣٤ ، ٢٣٩ ، ٢٤١  
داروين : ٢٦ ، ٢٣٣  
داروين ، انتخاب طبيعي : ٢٣٥  
ايسنن ، فريمان : ١٩٠  
درايش ، هانز : ٢٥  
درب التبانة ، مجرة : ١٠١ ، ١٦٠ ، ٢٤٣  
دقائق ثلاث أولى : ١٢٣ ، ١٢٤  
دن ، جي : ١١٩  
دنيا ، طاقة : ٥٦  
دوائر متداخلة ، نموذج : ٢٣  
دوائر متداخلة : ٢٣  
دوار : ١٢٠  
دواكنز ، ريتشارد : ١٧  
دوبلر ، ظاهرة : ٩٣  
دوران ، اتجاه : ٨٥  
دوران ، مطلق : ٦٥



- دوران : ٦٥ ، ٦٦ ، ٢٠٢  
 دورانى ، حركة : ٦٥  
 دولة ماهرة : ٢٠  
 دولة محفوظة : ٢٠  
 دون ذرات : ١٢٥  
 دون ذرى ، عالم : ٥٦  
 دون ذرية ، فيزياء : ٢٢١  
 دويش ، تجربة : ١٨٩ ، ١٧١  
 دى بيرولىنى لويىس : ١٧٠ ، ١٧١  
 دى سينر وليام ، نموذج : ٩٣  
 دى شاردين ، تايهارد : ٢٤٧  
 دى شاسو ، فيليب : ١١٢ ، ١١٣  
 دى فريز هندريك : ٤٧  
 ديراك واندرسون : ١٣٤  
 ديراك : ١٣١ ، ١٣٣  
 ديكارت : ٢١٣ ، ٢٤٨  
 دمقريطس ، ١٥ ، ١٦  
 ديناميكا حرارية ، قوانين : ١٦٥  
 ديناميكا حرارية : ١١٥  
 ديناميكية ، نظم : ١٩  
 ذ  
 ذاتى ، خلق : ٢٣٣  
 ذاتى ، قصور : ٦٦ ، ٦٧  
 ذرات غبارية : ٢٤٠  
 ذرات كربون واكسجين : ٢٣٥  
 ذرة : ١٣ ، ١٥ ، ١٧ ، ٢٩ ، ٣٠ ، ١٣٤ ، ١٢٥  
 ذرات ، مكونات اولية : ١١٣  
 ذرة ، نواة : ١٤٠  
 ذرى ، عالم : ١٦٨  
 ذرى ، مستوى : ٣٤  
 زن : ١٠ : ٢٣٤  
 راديو ، موجات : ٤٥ ، ١٦١  
 راديوى ، اشعاع : ٢٤٤  
 راديوى ، تليسكوب : ٢٤٢  
 راديوية ، أشعة : ٦٧  
 راديوية ، مرصد : ٢٤٤  
 راديوية ، نبضات : ١٦٣  
 راسل ، سكوت جون : ٤٧ ، ٥٠  
 رايل ، جلبرت : ٢٤٨  
 رذرفورد ، ١٦٩  
 رذرفورد ، نموذج : ١٦٨  
 روزن ، ناثان : ١٨٤  
 رياضى ، تحليل : ٢٢ ، ٤٥ ، ١٥٩  
 رياضى ، مفهوم : ٣٩  
 رياضيات : ٤٥ ، ٩٨  
 رياضيه ، حسابات : ٢٠٣  
 رياضيه ، صيغ : ٩٠  
 رياضيه ، معادلات : ٢١  
 رياضيه ، قوانين : ١٧  
 رياضيه ، نظرية : ١٤٠  
 ريختنباخ ، هانز : ١١٨  
 ريمان ، جورج : ٨٢  
 زمكان ، التواء : ٨٠ ، ١٦٠  
 زمكان ، الصيغة الرياضية : ٩٠  
 زمكان ، انحناء : ٢٢٣  
 زمكان مقوس : ٨٢ ، ٩١  
 زمكان ذى ابعاد اربعة : ٢٠٦  
 زمكان ، قوانين ميكانيكية : ٨٣  
 زمكان مفرد : ٢٢٤  
 زمكان ، مفهوم : ١٨٧  
 زمكان منحنى : ٩٧  
 زمكان ، وجهة نظر : ٩٣  
 زمكان : ٥٩ ، ٧٠ ، ٨٩ ، ١٢٣  
 زمكان ، هندسة : ١٩٤  
 زمكانى ، بعد : ٧٣  
 زمكانية ، اتفاق : ٢٢١  
 زمكانية ، مسافة : ٧٦ ، ٩١  
 زمن ، تشوه : ٩٦  
 زمن ، تمدد : ٨٨ ، ٨٩  
 زمن ، سريان : ١٢١  
 زمن سهم : ١١٠ ، ١١٢ ، ١١٤ ، ١١٦  
 زمن : ٣٥ ، ٧٥ ، ٩٩ ، ١٠٠ ، ١٠٦ ، ١٢٣ ، ١٢٤ ، ١٩٢  
 زمن ، تقسيم الى ماضى وحاضر ومستقبل : ٧٤  
 زمن ، طبيعة : ١٠٩ ، ١١٦  
 زيادة اسية : ١٤٣ ، ١٤٥  
 س  
 سببية مفهوم : ١٢٤  
 سببية : ٢١  
 سديم السرطان : ٢١٧  
 ستوط حر : ١٢٧  
 سمات ، جى : ١١٨  
 سوبر نوكا : ١٦٢  
 سوليتون : ٥٠ ، ٥١  
 سيبيريا : ١٣٩  
 سيكلوجى ، انطباع : ١١٧  
 سيكلوجى ، اختراع : ١١٨  
 سيليكون : ٢٣٩

- ضوء ، مصدر : ١٧٩  
 ضوء ، موجات : ٢٧ ، ٩٣ ، ١٠٠ ، ١٧١  
 ضوء : ٩٠ ، ١٠٠ ، ١٣٠  
 ضوء ، اشارات : ٨٨  
 ضوئية ، الياف : ٥١  
 ضوئية ، نبضة : ٧٣
- ظ
- ظروف أولية : ٤١ ، ١١١  
 ظروف نهائية : ٣٩
- ع
- عادية ، موجات : ٤٧  
 عالم دون ذرى : ١٧٤ ، ١٨٢  
 عالم كمى : ١٨٢  
 عالم ذرى : ١٧٤ ، ١٨٢  
 عالم مرئى : ١٦  
 عالمية ، شبكة : ٢١  
 عبد السلام : ٢٠٠  
 عجلة روليت : ٣٤  
 عجلة : ٦١  
 عدد جيجر : ١٨١ ، ١٨٩  
 عدم اليقين الكمى : ١٨٢ ، ١٨٦  
 عدم اليقين ، مبدأ : ٣٤ ، ١٨٣ ، ١٩٤  
 عدم اليقين : ١٧٦  
 عدم يقين الكم : ١٢٥ ، ٢٢٠  
 عدم يقين : ٤٢ ، ١٢٤ ، ١٢٧  
 عشوائية ، عمليات : ٣٣ ، ٣٤  
 عشوائية ، : ٣٢ ، ١٠٩ ، ١١٠  
 عشوائية ، حركة دائمة ، ١١١  
 علم حديث ، أفكار : ٢٨  
 علم حديث : ٤٣  
 علم ، عصر : ٢١  
 علم ، مجال : ١١٦  
 علمية ، طريقة : ٢٢  
 علمية ، نظريات : ٢٢ ، ٢٣ ، ٢٨
- ش
- شائل ، مكوك الفضاء : ٨٦  
 شاندور اسبخار ، سوبر  
 امانيان : ٢١٥  
 شرودينجر ، قطرة : ١٨١ ، ١٨٢  
 شرودينجر ، معادلة : ١٣١ ، ١٧١  
 شعري يمانية ، رفيق : ٢١٥  
 شمال ، قطب : ٦٤  
 شمس ، جاذبية : ٨٠  
 شمس : ١٥ ، ٦٩ ، ٩٩ ، ١١٢ ، ١١٤ ، ١٣١ ، ١٤٢  
 شمسي ، نظام : ٢٣ ، ٩٢ ، ١٦٧ ، ٢٣٧
- ص
- صدفة ، قوانين : ٤١  
 صفري ، حالة المجال : ٥٤  
 صناعية ، اقمار : ١٣٥  
 صوبة خضراء ، ٢٤٠  
 صوتية ، موجات : ٢٧ ، ٤٥ ، ١٧٢ ، ١٧٤  
 صوف : ٢٠
- ض
- ضوء ، سرعة : ٦٧ ، ٦٨ ، ٦٩ ، ٧٢ ، ٧٤ ، ٧٦ ، ٧٧ ، ٨١ ، ٨٨ ، ٩٣ ، ١٦٢ ، ١٨٥ ، ١٩٨ ، ٢٤٢  
 ضوء ، شعاع : ٦٨ ، ٧٨  
 ضوء مرئى ، حرارة : ١٢٧
- ط
- طاردة ، قوة : ٦٢ ، ٦٤ ، ٦٦ ، ٨٤ ، ٨٥ ، ٨٦ ، ١٤٢  
 طاقات ، كهربية : ١٢٩  
 طاقة : ٢٤٠  
 طاقة تجاذبية : ١٣٠  
 طاقة سالبة ، بحر : ١٣٣  
 طاقة سالبة ، مشكلة : ١٣٢  
 طاقة صفرية : ٢٢٨  
 طاقة عالية : ١٣٦  
 طاقة مركزة ، موجات حاملة : ٥٣  
 طاقة موجبة : ١٣٣  
 طاقة : ٢٣ ، ١٠٠ ، ١١٢ ، ١١٣ ، ١٢٤ ، ١٢٦ ، ١٢٧ ، ١٢٩ ، ١٣٠ ، ١٣٦ ، ١٤٠ ، ١٤٢  
 طاقة ، صور ، ١٠٩  
 طاقة ، مفهوم : ٢٣  
 طبيعة النظام الرياضى : ٤٣  
 طبيعة ، عدم اليقين : ٤٦  
 طبيعة ، قوانين : ٤١ ، ٤٤  
 طبيعة ، ظواهر : ٤٣  
 طوبولوجيا : ٥٣  
 طول وعرض ، خطوط : ١١٨  
 طول : ٥٩

علمية ، حقيقية : ٢٢  
عناصر اثقل : ١١٣  
عوالم أخرى : ١٨٧  
عوالم مضادة : ١٣٥

## غ

غازية : ٢٣٠  
غاز متاين : ١٢٧  
غاز : ١١١ ، ١١٢  
غاز ، جزيئات : ١١٠ ، ١١١  
غازات دوامية : ٢٢٩  
غازات مؤينة بضوء الليزر : ١٢٧  
غبار كوني : ١٣٩  
غير خطي ، مجال : ٥٥ ، ٥٤  
غير خطية ، تأثيرات : ١٩ ، ٥٠  
غير خطية ، موجات : ٤٦  
غير خطية ، نظم : ٤٤ ، ١٩ ، ٤٤  
٥٧ ، ٤٦  
غير منتظمة ، حركة : ٦٥ ، ٦٦  
٧٧ ، ٦٦  
غير هيولية ، نظم : ٣٥ ، ٣٧  
٤٢ ، ٣٧

## ف

فائق ، تناظر : ٢٠٢ ، ٢٠٣  
فائق ، توصيل : ١٧٣  
فائق ، مجال التوصيل : ٥١  
فائقة ، اجرام ذات جاذبية : ٨١

فائقة التوصيل ، مواد : ٥٢  
فائقة الحساسية ، أجهزة : ١٦٢  
فائقة السرعة ، حاسبات : ٥٧  
فائقة ، نظرية اوتار : ٢٤ ، ٢٠٩

فائقة ، اوتار : ١٩ ، ٢٠٩  
فائقة ، جاذبية : ٢٠٤ ، ٢٠٦  
فائقة ، ظاهرة الاوتار : ٥٤  
فائقة ، كوكبة : ١٥٣  
فارادي وماكسويل ، اعمال : ٦٧  
فاينكنج ، سقينة الفضاء : ٢٣٧ ، ٢٣٨  
فاينبرج ، ستيفان : ١٢٣ ، ٢٠٠

فترة زمنية : ٥٩ ، ٧٤  
فحم : ٢٠  
فراغ الفضاء : ١٣٠  
فراغ خاو : ٦٧  
فراغ ، فكرة : ٦٠  
فراغ كمي : ١٢٨  
فراغ لا نهائي : ٦٠  
فراغ : ٢٧ ، ٦٠  
فراغ ، طبيعة : ١٢٥  
فريميوس : ٢٠٣  
فضاء ، التواء : ١١  
فضاء بالمفهوم الفيزيقي : ٦٠  
فضاء بين المجرات : ١٠٦  
فضاء بين نجمي : ٢٤٠

فضاء بيني : ١٠٣  
فضاء ، تقوس : ٨٠  
فضاء ، تمدد : ٩٣  
فضاء ثلاثي الابعاد : ٨٥ ، ٢٠٥  
فضاء علماء الهندسة الاغريق : ١٠٤

فضاء فارغ : ٦٥ ، ١٢٥  
فضاء كمي : ١٥٥  
فضاء متمد ، فكرة : ٩٣  
فضاء مسطح : ٨٢  
فضاء مطلق : ٦٢ ، ٦٤ ، ٦٥

فضاء مقوس : ٨٢ ، ٩٠  
فضاء منحنى : ٩٦  
فضاء وزمن ، طبيعة : ٦٦  
فضاء : ٦٥ ، ٦٧ ، ١٩٢ ، ١٩٥  
فضاء ، اجواز : ١١٣  
فضاء ، برودة : ١١٤  
فضاء ، تقوس : ١٠٥  
فضاء ، سحابة غازية في : ١١٥

فضاء فيزيقي : ٩٩  
فضاء ، مفهوم : ٥٩  
فضائي ، نفق : ٢٢٢  
فضائية ، مخلوقات : ٢٤٤  
فعل أقل ، مبدأ : ٢٢٨  
خقد حراري : ١١٠  
فلك العلم الاغريقي : ٦٠  
فلك ، علم : ٨٤  
فلكي : ٩٩  
فوتون : ٧٤ ، ١٢٥ ، ١٢٦ ، ١٩٨ ، ١٣٧ ، ١٩٥ ، ١٧٠ ، ٢٠٢

فوتونات ، - - خاص : ١٣٤  
فوتونات ، تقديرية : ١١٥  
١٢٩ ، ١٩٨

فوتونات وقتية : ٢٢٦  
فوتونات ، طاقة : ١٢٧  
فوتينو : ١٥٢  
فوسفور : ٢٣٥  
فوضى : ١٠٩  
فيتش ، قال : ١٣٦  
فيتاغورث ، نظرية : ٧١ ، ٧٣

أسطورة - ٢٥٧

فيربانك ، وليام : ٨٦

فيردي ، افريكو : ٢٤٥

فيروس : ٢٢٢

فيزياء جزيئية : ٤٢

فيزياء ذرية : ٤٢

فيزياء ، عمليات معقدة : ٢٤٠

فيزياء ، فوائين : ٢٢ - ٤١

٩٤ ، ٩٩ ، ١١٣ ، ١٣٦ .

١٩٢ ، ٢٠٣ ، ٢١٩

فيزياء كلاسيكية : ١٢٥

فيزياء : ١٨ ، ٥٧

فيزياء حديثة : ٢٤

فيزياء ، فروع : ٢٣

فيزيائي ، عالم ، ٣٢ ، ١٦١ ،

١٠٧ ، ١٨٢

فيزيائي ، كون : ١٥١ ، ٢١١

٢٤٦ ،

فيزيائية ، عمليات : ١٠٠ ،

١٠٨ ، ٢٢٥ ، ٢٣١ ، ٢٣٦

فيزيائية ، كيمياء : ١٧١

فيزيائية ، ظواهر : ٧٤

فيزيائية ، نظم : ١١٠ ، ٢٤٤

## ق

قصور ذاتي : ١٦

قطعة مطاطية : ١٠٤

قطعي التحديد ، نظمه : ٣٠٠

قسطية ، مركز : ١٠٢

قمر : ٦١

قنبلة نووية : ١٣٩

قوة التنافر الكهربائية : ١٦٨

قوة التجاذب : ١٢٦ ، ١٢٨

قوة ضعيفة : ٢٠١ ، ٢٠٣

قوة موحدة عظمى : ١٩٧

قوة نووية شديدة : ١٩٧

قوى جذب : ٢٠٢

قوى قوية : ١٩٧

كمي ، عدم يقين : ١٩٨

كمي ، عقل : ١٨٩

كمي ، عالم مجهرى : ٣٠

كمي ، عالم : ١٢٧

كمية ، تأثيرات : ٤٢ ، ١٢٣

كمية ، تغيرات : ١٥٥

كمية جاذبية : ٢٠٠ ، ٢٠٢

كمية جاذبية ، نظرية : ٢٠٠

كمية ، عمليات تجاذبية : ١٤٠

كمية ، عمليات : ١٣٧ ،

١٤٨

كمية ، فيزياء : ٥٢

كمية كهروديناميكية : ١٩٦ ،

٢٠٠

كمية ، مجالات : ٢٠٢

كمية ، نظرية مجالات : ١٨ ،

١٩٣ ، ١٩٤ ، ٢٠٢

كمية ، موجة : ١٨١ ، ١٨٦

كمية ، ميكانيكا : ١٧١ ، ١٩٣

كمية نظرية : ١٨ ، ١٨٤ ،

١٩٤

كهربي ، قوة تجاذب : ٢٣٥

كهربي ، تنافر : ١٩٠

كهربية ، شحنة : ٥٢ ، ١٦١

كهربية ، طاقة : ٥٢

كهربية ، قوى : ١٦٨

كهروضعيفة ، قوة : ١٩٧

كهرومغناطيسي : ٢٧ ، ٢٨

١٧٠ ، ١٩٤

كهرومغناطيسية ، اشعاعات :

٧٦ ، ١٣٤ ، ١٧٠

كهرومغناطيسية ، قوة : ١٩١ ،

١٩٦ ، ٢٠١ ، ٢٠٥

كهرومغناطيسية ، موجات :

٦٧ ، ١٩٤ ، ١٩٧

كهرومغناطيسية : ٢٧

كواركات : ٧٧ ، ١٩٧ ، ٢١٠

٢١٩ ،

كائنات حية : ٢٣٠ ، ٢٣١

كائنات مجرية : ٢٤٠ ، ٢٤٣

كائنات ميكروبية : ٢٣٧

كارتر ، براندون : ١٩١

كاسيمر ، تأثير : ١٢٦ ، ٢٢٥

كاسيمر ، تجربة : ١٢٨

كاسيمر ، هندريك : ١٢٥

كالوزا ، تيودور : ٢٠٤

كالوزا - كلاين ، نظرية :

٢٠٥ ، ٢٠٨

كامبردج ، جامعة : ٢٣٤

كبريت : ٢٣٥

كتلة : ٥٩

كربون : ٢٣٥ ، ٢٣٩

كربون ، كيمياء : ٢٣٩

كرستال ، مارتين : ٥٠

كرون ، جيمس : ١٣٦

كريك ، فرانسيس : ٢٣٤

كلاسيكية ، فيزياء : ١٧٠

كلاين ، اوسكار : ٢٠٥

كلى ، كسوف : ٧٨

كم ، تأثير : ٢١٥ ، ٢٢٢ ،

٢٢٧

كم ، جاذبية : ٢٠٤

كم ، عجائب : ١٩٠

كم فيزياء : ١٩ ، ٢٠٨

كم ، قواعد : ١٨٠

كم ، ميكانيكا : ٢٩ ، ٣٠ ،

٣٤ ، ٣٥ ، ١٢٠ ، ١٧٥ ،

١٨٢ ، ١٩٣ ، ١٩٨

كم ونسبية ثورية : ٢٢٩

كمي ، لكاء : ١٩٢

- كون منسارك : ٢٤٧  
كون متمد : ٩٢ ، ١٠٠ ،  
١٠٢ ، ١٢٣ ، ١٣٠  
كون متناهي متعلق ، نموذج :  
٩٤  
كون مرئي : ١٠٣  
كون معنوس : ٢٠١  
كون ممتد : ٩٥  
كون ممتد ، نموذج بديل :  
١٠٤  
كون واقعي : ١٠٣  
كون : ٩٩ ، ١٠١ ، ١٠٨ ،  
١٠٩ ، ١١٣ ، ١٤٠ ، ١٤١ ،  
١٤٣ .  
كون ، اصل : ١٣٩  
كون ، انحناء : ١٠٥  
كون برودة : ١١٤  
كون ، توازن ثرموديناميكي :  
١١٣  
كون ، حافة ، ١٠٣ ، ١٠٧  
كون ، خلق : ١١٦  
كون ، مادة : ١٠٧ ، ١٣٧  
كون ، مراحل مبكرة : ١٣٥  
كون ، مركز او حافة : ١٠٧  
كون مفتوح : ١٠٥  
كون نشأة : ٩٩ ، ١٣٨ ، ١٥٦  
كون ، نموذج : ٢٣  
كوني ، مستوى : ٦٩ ، ٧٤  
كوني ، مضمار : ٢٢٩  
كوني ، نادي لاسلكي : ٢٤٤  
كوني ، تمدد : ١٠١  
كونيات ، علم : ٩١ ، ٩٩ ،  
١٠٠ ، ١٣٨  
كونية ، ابعاد : ٢٠٦  
كونية ، حرارة : ١٤٨  
كونية ، ساعة : ١٨ ، ٢١ ،  
١٥٠  
كونية ، شبكة : ١٩٣ ، ٢٠٩ ،  
٢١٧  
كونية ، خلفية اشعاعية : ١١٣  
كونية ، مادة : ١١٤  
كونية ، مسألة : ١١٢  
كونيون : ٩٩ ، ١٠٧ ، ١٠٨  
كويكبات : ١٣٩  
كيمياء بديلة ، فكرة : ٢٣٩  
كيمياء غريبة ، مفهوم : ٢٤٠  
كيميائي ، نشاط : ٢٣٨ .  
كيميائية ، تفاعلات : ٢٣٩  
كيميائية ، عمليات : ٢٣٤  
كيميائية ، مخلوطات : ٤٦  
ل  
لا بلاس بيير ٣٣ ، ٣٤ ، ٢١٤  
لاسلكي ، اتصال : ٢٤٤ ،  
٢٤٥  
لاسلكي ، تليسكوب : ٢٤٢  
لامارك : ٢٥  
لا متناهي ، خواء ، ٩٣ ،  
٢١٣  
لاهوب ، نظرية : ٢٦  
لايبنز ، جوتفريد : ٦٥  
لغز كوني : ١٢٤  
لف : ٢٠٢  
لندن : ٨٧  
لوفلوك ، جيم : ٢٣٣  
لوكرتون ، فيلسوف : ١٤٨  
لويل ، بريسفال : ٢٤٢  
ليبي ، ويلارد : ١٣٩  
ليزر ، اشعة : ١٧٨  
ليزر : ١٢٧  
ليوكريتس : ٦٠  
ماخ ، ايرنست : ٦٦  
ماخ ، مبدأ : ٨٤ ، ٨٥ ، ٨٦ ،  
١٥١  
مادة ، اصل : ١٣٠ ، ١٣٩  
مادة اولية : ١٢٣  
مادة ، تبخر : ١٠٨  
مادة ، تحرر : ٢٢  
مادة ، توزيع : ١١٤  
مادة ، تولد : ١٣٤  
مادة ، جسيمات : ١٤٣ ، ٢٠٣  
مادة ، جوهر : ١٩  
مادة خاملة : ١٩٣  
مادة ، خواص : ٧٧  
مادة ، سلبية مطلقة : ١٦  
مادة سوداء : ١٥٢ ، ٢٠٤  
مادة صماء : ١٩  
مادة مركبة : ١٥٢  
مادة مضادة : ١٣٢ ، ١٣٤ ،  
١٣٥ ، ١٣٦ ، ١٣٨ ، ١٣٩  
مادة منضغطة اولية : ١٠٦  
مادة ، وجود : ١٠٥  
مادة : ١٦ ، ٢٧ ، ٩٩ ، ١٠٦ ،  
١١٥ ، ١٢٤ ، ١٣٤ ، ١٣٥  
١٣٩ ، ١٤٠ ، ١٤٢ ، ١٤٥ ،  
١٤٨ ،  
مادية : ١٨ ، ٢٠  
مادية ، ثروة : ١٩  
مادية ، مذهب : ١٦  
مارينر ٤ ، مركبة فضائية :  
٢٦  
ماريلاند ، جامعة : ١٦١  
ماكاي ، دونالد : ١٨  
ماكسويل : ٢٧  
ماكسويل ، معادلات : ٢٠٤  
مانشستر ، جامعة : ١٧٠  
متباعدة ، مجرات : ١٠٣  
متوازنة ، اكوان : ٢٢٧  
متوازنة ، خطوط : ٨٢  
متوازنة ، عوالم : ١٨٢

منفردة ، موجرات : ٦٤  
منفردة ، موجات نوبولوجية :  
٥٤  
منفردة ، موجات لحظية : ٥٦  
منفردة ، موجات : ٥٠ ، ٥٢ ،  
٥٣ ، ٥٤ ، ٥٦  
موت ، مفهوم : ١٠٩  
موجات كهرومغناطيسية : ١٢٦  
موجات مندية : ١٧٤  
موجات : ١٨ ، ٤٧ ، ٤٨ ،  
٥٠ ، ٥٦  
موجة ، طول : ٤٧ ، ٤٨  
مورلي - ميكلسون ، تجربة :  
٧٧  
مورلي ، ادوارد : ٦٧  
موريسون ، فيليب : ٢٤٣  
موريسون : ٢٤٤  
موس ، ايان : ١٦٥  
مولد كهربى : ١٦٢  
ميزون ك : ١٢٦  
ميشيل ، جون : ٢١٤  
ميكانيكا الكم ، قواعد : ١٣٣  
ميكانيكا الكم ، نظرية : ١٨٣  
ميكانيكا ، كتاب : ٦٦  
ميكروسكوب الكترونى : ١٧٣  
ميكلسون ، البرت : ٦٧  
ميلر ، ستانلى : ٢٣٤  
ن  
نابضات : ٧٧  
نابضات ثنائية : ١٦٣  
نتروجين ، بحار : ٢٣٩  
نجم ، انهيار : ٩٥  
نجم زائر : ٢١٧

مستوى كمى : ١٩٠  
مستوى ، سطح : ٢٣٨  
معادلة موجية : ١٨٠  
معادن : ٧٧  
معجلات : ١٢٨  
معلومات نورة ، تكنولوجيا :  
١٩  
معلوماتية ، طاقة : ٢٠  
معلوماتية : ١٩  
معهد ماساتسوتس للتكنولوجيا  
: ١٤٦  
مغناطيس ، قطب شمالي  
وجنوبى : ٢٠١  
مغناطيسى ، مجال : ١٥٥  
مشاركات القياسات الكمية :  
١٨٩  
مشاركة القياس : ١٧٩  
مفردة اولية : ١١٣ ، ١١٤ ،  
١٢٣  
مفردة ، مفهوم : ٩٤  
مفردة : ٩٥ ، ٩٦ ، ١٠٧ ،  
٢١٩ ، ٢٢٣  
مقاييس فلكية : ٢٤٥  
مقياس ارضى : ٨١  
مقياس زمنى : ١٤١  
مقياس فلكى : ٨١  
مكان للماضى والحاضر  
والمستقبل : ١١٦  
مكانية ، مسافة : ٧٥  
مكرونة ، اسباحية : ٢٢٠  
مماثلات حاسوبية : ١٦٥  
منتظمة ، حركة : ٦٦  
منطقية الوصفية : ٢٩  
منظم ، كون ، ٣٢  
منغلق ، ولكن بلا حدود ،  
مفهوم ، ٩١  
منفردة ، شحنة مغناطيسية :  
٥٦

مجال تجاذبى : ١٣٠  
مجال كمى ، نظرية : ٢٤  
مجال كهربى : ١٢٩  
مجالية ، طاقة ، ١٥٦  
مجات ، تقاعد : ١٠٦  
مجات حلزونية : ١٠١  
مجات ، عدد : ١٠٥  
مجات ، فضاء : ١٠٥  
مجات مرئية : ١٠٢  
مجرة : ٩٢ ، ٩٣ ، ٩٩ ، ١٠١ ،  
١٠٢ ، ١٠٣ ، ١٠٤ ،  
١٠٥ ، ١٠٦ ، ١٠٧ ، ١٤٥ ،  
٢٣٧ ،  
مجات تنحرك فى الفضاء :  
١٠٣ ، ١٠٥  
مجات ، كوكبة من : ١٠٠  
مجرة ، اذرع لولبية : ٢٤٣  
مجرة ، قلب : ١٣٦  
مجرة ، مركز : ٦١ ، ٦٤  
محطات الفضاء الامريكية :  
١٣٩  
محيطات : ٧٨  
مخرجات : ٣٧  
مخلوقات حية : ١٧  
مدى ، قوى : ٧٨  
مداخلات : ٣٧  
مذنب : ١٣٩ ، ٢٤٠  
مدينة الانشطة المتعددة : ٢٠  
مركز اوربى للأبحاث النووية :  
١٥  
مريخ ، سطح : ٦١ ، ٢٣٨ ،  
٢٤٢  
مريخ ، قنوات : ٢٦  
مستعرات عظمى : ٢١٧ ،  
٢١٨  
مستوى دون مرئى : ١٢٤  
مستوى نرى : ١٢٤ ، ١٤٠ ،  
١٨٩  
٢٦٠

- نجم نابض : ١٦٤  
نجم نيوتروني تقليدي : ١٦٢  
نجم نيوتروني : ٢١٦  
نجم : ١١٤  
نجم ثنائي ، نظام : ١٦٢  
نجمي . نخل : ١١٦  
نجمي ، فرسخ : ١٠١  
نجوم ، انسياد : ٢١٩  
نجوم سوداء : ٢١٦  
نجوم مصدر : ١٢٨ ، ١٢٤  
نجوم . مواضع : ٧٨  
نجوم نقيضة : ١٢٦  
نجوم : ١٠ ، ٦٤ ، ٩٩ ، ١٠١ ، ١١٣ ، ٢١٥  
نجوم ، مواد ما بين : ٩٩  
نسبية ، حركة : ٦٥  
نسبية خاصة ، نظرية : ٦٨  
نسبية خاصة : ٨٨ ، ٩٣  
٢٢٤  
نسبية عامة ، نظرية : ٨٠ ، ٨٣  
نسبية عامة : ٦٦ ، ٨٤ ، ٨٧ ، ٩٠ ، ٩٣ ، ١٠٠ ، ١٠٣ ، ١٠٥ ، ١٦٠ ، ١٩٣ ، ٢٠٤ ، ٢١٦  
نسبية ، مبدأ : ٦١  
نسبية ، نظرية : ١٨ ، ٢٧ ، ٢٨ ، ٥٨ ، ٦٨ ، ١١٦ ، ١٤٥  
نسبية والكم ، قوانين : ١٥٠  
نسبية ، وجهة نظر : ٧٤  
نسبية : ١١٦ ، ١٤٥  
نشوء وارتقاء ، نظرية : ٢٥  
نظام ثنائي : ٢١٨  
نظام : ١٠٩  
نظرية ، كمية : ١٢٤ ، ١٣١ ، ١٤١  
نظقي ، تأثير : ١٩٨
- نقطة اوميغا : ١٥١  
نقطة كوري : ١٥٥  
نهايات مشكلة : ٢٠٤  
نهضة ، عصر : ٦٢  
نواة : ٧٧ ، ١٢٨ ، ١٦٨ ، ١٨١  
نوبل ، جائزة : ١٣٤  
نووي ، بعد : ٢١٤  
نووي ، تفاعل : ٢١٧  
نووي ، فناء : ٢٤٦  
نووي ، وقود : ١١٣ ، ٢١٥  
نووية ضعيفة ، قوة : ١٦٨  
نووية ، عمليات : ٢٠١ ، ٢١٧  
نووية ، قوة : ١٦٨  
نووية قوية ، قوى : ١٦٨  
نيازك : ١٣٩  
نيانز بوهر : ١٨٣  
نيواروليانز : ٢٤٧  
نيوترون : ٥١ ، ١٣٠ ، ١٩٠ ، ١٩٧  
نيوترونات ، حرة : ١١٣  
نيوتروني ، نجم : ٢١٥ ، ٢١٦  
نيوترونية ، موجات : ١٧٤  
نيوترينو ، جسيم : ١٥٢  
نيوتن ، الساعة الكونية : ١٨٤  
نيوتن ، قوانين : ٦١ ، ٦٦ ، ١٥٠  
نيوتن ، نظرية : ٨٣  
نيوتن ، اسحق : ١٦ ، ٢٢ ، ٤٦ ، ٦٠ ، ٦٣ ، ٦٥ ، ٦٦  
نيوتن ، الساعة المنضبطة  
ليكانيك : ١٢٤  
نيوتن ، النموذج الديناميكي : ١٨  
نيوتن ، فكرة الفراغ والزمن : ٥٧  
نيوتن ، فكرة : ١٨
- نيوتن قانون التربيع العكسي : ٨٤  
نيوتن ، قوانين الحركة الشهيرة : ١٦ ، ١٧ ، ٢٣ ، ٢٥  
نيوتن ، نظرية الية : ١٨  
نيوتوني ، مفهوم : ٢١  
نيونونية - لا بلاسية : صورة : ٤٢  
نيونونية - لا بلاسية ، نظرة : ٢٥  
نيونونية ، ساعة منضبطة : ٢١١  
نيونونية ، صورة : ٢١  
نيونونية ، فيزياء : ٦٤  
نيوكاسل ، جامعة : ١٦٥
- ه  
هابل ، ثابت : ١٠١  
هابل ، قانون : ١٠١ ، ١٠٦ ، ١٠٧  
هابل ، ادوين : ٩٩ ، ١٠٠  
هاونج . ستيفن : ١٦٥ ، ٢٢٨ ، ٢١١  
هايزنبرج : ٢٩ ، ٣٠  
هلمهولتز : ١٠٩  
هليوم ، ذرة : ١٦٧  
هليوم مضاد : ١٢٨ ، ١٣٩  
هندسة اقليدية : ٨٢ ، ١٠٥  
هندسة غير اقليدية : ٨٣  
هندسة ، غير مستوية : ١٠٥  
هيل ، فريد : ٢٤٠  
هيلر ، جون : ١٧٧ ، ١٧٨ ، ٢٤٠ ، ٢٤٦  
هيل - ويكر اماسنغ ، صياغة : ٢٤٠  
هيدروجين ، سحب : ٢٤٣  
هيدروجين : ١٣ ، ١١٤ ، ١٢٣ ، ١٧٠ ، ٢٣٤

هيدروجين ، ذرة : ١٠٥  
هيدروجين ، نقيض : ١٣٨  
هيدروجيني ، وقود : ١١٣  
هيرقليطس : ١٥  
هيكل شبكى للبلورة : ١٧٣  
هيكل شبكى : ١٧٣  
هيليوم : ١١٣ ، ١١٤  
هيولى ، نظام ، ٣٦ ، ٤١  
هيولى : ٣٢  
هيولى تحديدية : ٤٢  
هيولى ، حركة : ٣٧  
هيولى ، دراسة : ٤٢  
هيولى ، طبيعة : ١٧٧  
هيولى ، عمليات : ٤٠

هيولى ، كمية : ١٨٣  
هيولى ، نظم : ٣٧ ، ٣٨ ، ٤٠ ، ٤٢  
هيولى ، نظرية : ١٩  
هيولى : ٣٥ ، ٤٠

وزن سائب : ٢٢٦  
وسطية : ٢٣٦  
وضع ابتدائى : ٤٠  
ويبر ، جوزيف : ١٦١  
ويل ، هيرمان : ١١٧  
ويلز ، هـ ج : ٩٢

## و

واطسن ، جيمس : ٢٣٤  
واقعى ، عالم : ٩٦ ، ٩٩  
وبائية ، موجات : ٢٤١  
وتر كوفى : ١٥٥  
وزن القضاء : ٢٢٦ ، ٢٢٧ ، ٢٢٨

يو

يوارى ، هارولد : ٢٣٤  
يوارى - ميلر ، تجربة : ٢٣٨  
يورانيوم : ٢٠ ، ١٧٢  
يونج ، توماس : ١٧٥



## اقرأ في هذه السلسلة

جوزيف دامموس  
سبع معارك فاصلة في العصور  
الوسطى

د. لينواير تشامبرزرايت  
سياسة الولايات المتحدة  
الأمريكية إزاء مصر

د. جون شندلر  
كيف تعيش ٣٦٥ يوما في  
السنة

بيير البير  
الصحافة

د. غبريال وهبة  
اثر الكوميديا الإلهية لداغتي  
في الفن التشكيلي

د. رمسيس عوض  
الأدب الروسي قبل الثورة  
البلشفية وبعدها

د. محمد نعمان جلال  
حركة عدم الانحياز في عالم  
متغير

فرانكلين ل. باومر  
الفكر الأوربي الحديث ٤ ج

شوكت الربيعي  
الفن التشكيلي المعاصر في  
الوطن العربي

د. محي الدين أحمد حسين  
التشكئة الأسرية والإبقاء الصغار

ج. داني أندرو  
نظريات الفيلم الكبرى

جوزيف كونراد  
مختارات من الأدب القصصي

د. جرمان دورشنر  
الحياة في الكون كيف نشأت  
وأيّن توجد

طائفة من العلماء الأمريكيين  
مبادأة الدفاع الاستراتيجي  
حرب الفضاء

د. السيد عليوة  
إدارة الصراعات الدولية

د. مصطفى عناني  
الميكروكمبيوتر

مجموعة من الكتاب اليابانيين القدماء  
والحديثين

مختارات من الأسب الياباني  
د الشعر - الدراما - الحكاية -  
القصة القصيرة ،

بيل شول وأدبنييت  
القوة النفسية للأهرام

د. صفاء خلوصي  
فن الترجمة

رالف نى ماتلو  
تولستوى

فكتور برومبير  
ستدال

فيكتور هوجو  
رسائل وأحاديث من الخفى

فيرنر هيرنبورج  
الجزء والكل « معاومات في مضممار  
الفيزياء الذرية »

سدنى هوك  
القرات الغامض - ماركس  
والماركسيون

ف. ع. أئينكوف  
فن الأدب الروائي عند تولستوى

مادى نعمان الهيتي  
أدب الأطفال « فلسفته ، فنونه  
وسانطه »

د. نعمة رحيم العزاوى  
أحمد حسن الزيات كاتباً وناقداً

د. فاضل أحمد الطائى  
أعلام الدرب فى الكيمياء

جلال العشرى  
فكرة المسرح

هنرى باربوس  
الجحيم

د. السيد عليوة  
صنع القرار السياسى فى  
منتظمات الإدارة العامة

جاكوب برونوفسكى  
التطور الحضارى للإنسان

د. روجر ستروجان  
هل نستطيع تعليم الأخلاق  
للأطفال ؟

كاتى شير  
تربية الدواجن

٠١ سبنسر  
الموتى وعالمهم فى مصر  
التشيمة

د. ناعوم بيتروفيتش  
التحل والطب

برتراند رسل  
أعلام الإعلام وقصص أخرى  
ي. رادو نكاياروم جابوتنسكى  
الالكترونيات والحياة الحديثة

ألدس هكسلى  
نقطة مقابل نقطة

ت. و. فريمان  
الجغرافيا فى مائة عام

رايموند وليامز  
الثقافة والمجتمع

و. ج. فوريس و. ج. ديكنستر هو  
تاريخ العلم والتكنولوجيا  
٢ ج

ليسترديل راي  
الأرض الغامضة

والتر آلن  
الرواية الانجليزية

لويس فارجاس  
المؤشد الى فن المسرح

فرانسوا دوماس  
آلهة مصر

قدري حفى واحرور  
الإنسان المصرى على الشاطئ

اولج فولكف  
القاهرة مدينة ألف ليلة وليلة

ماشم النحاس  
الهوية القومية فى السينما

بيفيد وليام ماككوال  
مجموعات النقود - صيالتها  
تصنيفها - عرضها

عزيز الشوان  
للموسيقى تعبير نفسي ومنطق

د. محسن جاسم الموسوي  
عصر الرواية

ديلان توماس  
مجموعة مقالات نقدية

جون لويس  
الإنسان تلك الكائن الفريد

جول ويست  
الرواية الحديثة - الانجليزية  
والفرنسية

د. عبد المعطى شعراوى  
المسرح المصرى المعاصر  
أصله وبدايته

أنور المعداوى  
على محمود طه الشاعر والإنسان

جابريل باير  
تاريخ ملكية الاراضى فى مصر  
الحديثة

انطونى دى كرسبى وكينيث هينوج  
اعلام الفلسفة السياسية  
المعاصرة

دوايت سوين  
كتابة السيناريو للسينما

زافيلسكى ف. س  
الزمن وقياسه ( من جزء من  
البليون جزء من الثانية وحتى  
مليارات السنين )

مهندس ابراهيم القرضاوى  
اجهزة لتكييف الهواء

بيتر رداى  
الخدمة الاجتماعية والانضباط  
الاجتماعى

جوزيف دامموس  
سبعة مؤرخين فى العصور  
الوسطى

س. م. بورا  
التجربة اليونانية

د. عاصم محمد رزق  
مراكز الصناعة فى مصر  
الاسلامية

رونالد د. سمبسون ونورمان د.  
اندرسون  
العلم والطلاب والمدرسين

د. انور عبد الملك  
الشارع المصرى والفكر

ولت وتيمان روستو  
حوار حول التنمية الاقتصادية

فرد. س. هيس  
بسيط الكيمياء

جون لويس بوركهارت  
العادات والتقاليد المصرية  
من الامثال الشعبية فى عهد  
محمد على

الان كاسبيار  
التنوع السينمائى

سامى عبد المعطى  
التخطيط السياحى فى مصر  
بين النظرية والتطبيق

فريد هويل وشاندرا ويكراما سيج  
البتور الكويتية

حسين حلمى المهندس  
دراما الشاشة ( بين النظرية  
والتطبيق ) للسينما والتلفزيون  
٢

روى روبرتسون  
الهيروين والايذز والرمحا فى  
المجتمع

دور كاس ساكليتوك  
صور افريقية - نظرة على  
حيوانات افريقيا

هاشم النحاس  
نجيب محفوظ على الشاشة  
د. محمود سرى طه

الكومبيوتر فى مجالات الحياة

بيتر لورى  
المخدرات حقائق نفسية

بوريس فيدوروفيتش سيرجيف  
وقائف الاعضاء فى الالف  
الياء

ويليام بينز  
الهندسة الوراثية للجميع

ديفيد الدركون  
تربية اسماء الزينة

احمد محمد الشنوانى  
كتب غيرت الفكر الانسانى

جون. ر. بورر وميلتون جولدين  
الفلسفة وقضايا العصر ٢

ارنولد توينبى  
الفكر التاريخى عند الاغريق

د. صالح رضا  
ملاحج وقضايا فى الفن  
التشكيلى المعاصر

م. ه. كنج وآخرون  
التقنية فى البلدان النامية

جورج جاموف  
بداية بلا نهاية

د. السيد طه السيد ابو سديرة  
الحرف والصناعات فى مصر  
الاسلامية منذ الفتح العربى  
حتى نهاية العصر الفاطمى

جاليليو جاليليه  
حوار حول النظامين الرئيسيين  
للكون ٣

اريك موريس والان هو  
الارهاب

سيرل الدريد  
اختناقون

ارثر كيستلر  
القبيلة الثالثة عشرة ويهود  
اليوم

ب. كوملان  
الاساطير الاغريقية والرومانية

د. توماس ا. هاريس  
التوافق النفسى - تحليل  
المعاملات الاتصالية

لجنة الترجمة  
المجلس الاعلى للثقافة  
الدليل البيليوجرافى  
روائع الاداب العالمية ١

روى آرمن  
لغة الصورة فى السينما المعاصرة

ناجى متشيو  
الثورة الاصلاحية فى اليابان

بول هاريسون  
العالم الثالث غدا

ميكائيل البى وجيمس لفلو  
الاتقراض الكبير

آدامز فيليب  
ليل تنظيم المتاحف

فيكتور مورجان  
تاريخ القواعد

محمد كمال اسماعيل  
التحليل والتوزيع الاوركستراالى

ابو التاسم الفردوسى  
الشاهنامه ٢

بيرتون بورتر  
الحياة الكريمة ٢

جاك كرايس جونيور  
كتاية التاريخ فى مصر القرون  
التاسع عشر

محمد فؤاد كوبرلى  
قيام الدولة العثمانية

توى بار  
التمثيل للسينما والتلفزيون

تاجور. شين بين بنج وآخرون  
مختارات من الاداب الاسيوية

ناصر خسرو على  
سفرنامه

نادين جورديمر وجريس اوجوت  
آخرون  
سقوط المظفر وقصص اخرى

احمد محمد الشنوانى  
كتب غيرت الفكر الانسانى  
٧

جان لويس بورى وآخرون  
فى النقد السينمائى الفراقى

العثمانيون فى اوربا  
بول كرايز

موريس بير براير  
صناع الخلود

ريجمونت مير  
بماليات فن الاخراج

جوناثان ريلى سميت  
الحملة الصليبية الاولى وفكره  
الحروب الصليبية

الفريد ج بتر  
الكنايس القبطية القديمة  
مصر ٢

ريتشارد شاحت  
رواد الفلسفة الحديثة

ترايم زرادشت  
من كتاب الالهة المقدس

الحاج يونس المصرى  
رحلات فاروقيا

ميراث ثيلر  
الاتصال والهيمنة الثقافية

برنارد راسل  
السلطة والفرد

بيير بيكولر  
السيف والخيال

ادوار ميرى  
النقد السينمائى الامم

غزالى لوبس  
مصر الرومانية

سييف اورمند  
انقاريج من شتى جوانبه ٣

موسى راج واهرو  
السينما العربية من الخليج الى  
المحيط

ماسر بكار  
نهم يصنعون البشر ٣

ماد محمد الجرد  
ماسفريخت

مور كزيم ٣  
من هم القطار

ج س مير  
لكاتب الحديث وعالمه  
٢

وريال عبد الملك  
حديث النهر  
من روائع الاداب الهندية

لورينو تود  
محل الى علم اللغة

سحق عظيمه  
الشموس المقفرة  
اسرار السوير توف

مارجريت رور  
ما بعد الحداثة

بيارد بودج  
لزهو فى الف عام

ستيفن رانسيمان  
الحملات الصليبية

ج ٠ ولز  
عالم تاريخ الانسان  
٤

جوستاف جرونيباوم  
حضارة الاسلام

عبد الرحمن عبد الله الشيع  
رحلة بيرتون الى مصر والحجاز  
٣

جلال عبد الفتاح  
الكون ذلك المجهول

ارنولد جنز واخرون  
انطلق من الخامسة الى العاشرة  
٢

يادى اونيمود  
الروقياء - الطريق الاخر

محمد زينهم  
فن الزواج

جريسلاو ماليفوسكى  
السحر والعلم والدين

ادم متر  
الحضارة الاسلامية

ماس بكار  
النهم يصنعون البشر

عبد الرحمن عبد الله الشيع  
٣ جات رحلة فاسكو داجاما

بغرى سامور  
كوفنا المتعد

سومدار  
الفلسفة الجوهرية

مارش مار كريف  
هوب المستقبل

فرانسيس ج برجير  
الاعلام التطبيقى

عبد مباح  
لبحرية المصرية من محمد على  
للمساعات

ج ٠ كارميل  
تبسيط المفاهيم الهندسية

نوماس ليههارت  
من المايه والبانثوميه

ادوارد سوبوم  
التفكير المتجدد

ويليام ٣ ماثيو  
ما هى الجيولوجيا

كريستيان ساليه  
السيناريو فى السينما الفرنسية

بول وارن  
خفايا نظام التجم الامريكى

جورج ستاينر  
بين تولستوى ودوستويفسكى  
٢

يانكو لافرين  
الرومانتيكية والواقعية

حمود سامى عطا الله  
الفيلم التسجيلى

جوزيف بيس  
رحلة جوزيف بتس

ستانلى جيه سولومو  
نواع الفيلم الامريكى

مارى ب ناش  
الحمر والبيض والصوف

جوزيف م يوجز  
فن الفرقة على الاقلام

كريستيان ديروش نويلكه  
المرأة الفرعونية

جوزيف يندمام  
عجز تاريخ العلم والحضارة  
فى الصين

ليوناردو دافنشى  
نظرية التصوير

ج ٣ جيه  
كلوز الفراعنة

رودولف فون هابسبرج  
رحلة الامير رودولف الى الشرق  
٣

مالكوم برايدرى  
الرواية اليوم

وليم مارسدن  
رحلة ماركو بولو ٣

هنرى بيرين  
اريخ اوريا فى العصور الوسطى

بيفيد شنير  
نظرية الادب المعاصر وقراءة الشعر

اسحق عظيموف  
العلم واتفاق المستقبل

رونالد دافيد لانج  
سحمة والجنون والحملات

كارل بوير  
سحفا عن عالم افضل

فورمان كلارك  
لاقتصاد السياسى للعلم  
والتكنولوجيا

المسيح نصر الدين المسيد	ونفرد هولر	روبرت سكولز وآخرون
اطلالات على الزمن الاتي	كالات ملكة على مصر	افاق ادب الخيال العلمي
مسرح عطية	جيمس هنرى برستد	ب. من ديفيز
البرنامج القوى الاسرائيلي	تاريخ مصر	المفهوم الحديث للمكان والزمان
والامن القومي العربي	بول دافير	س. موارد
ليوبوسكالدا	العلاقات الثلاث الاخيرة	اشهر الرحلات الى غرب افريقيا
الحب	موريف وهارى فيلدمان	و. بارتولد
ايغور ايفانس	دينامية الفيلم	تاريخ الترك في اسيا الوسطى
مجلد تاريخ الادب الانجليزى	ج. كونتنتو	فلاديمير تيمانوف
ميربرت ريد	الحضارة الفينيقية	تاريخ اوربا الشرقية
التربية عن طريق الفن	ارنست كاسيرو	ابرييل جاجارسيا ماركيز
وليام بينر	في المعرفة التاء فيه	الجنرال في المقاومة
معجم التكنولوجيا الحيوية	كنت ا. كتش	هنرى برجمون
الفين توفلر	رمسيس الثاني	الضحة
تعول السلطة	جان بول سارتر وآخرون	مصطفى محمود سليمان
يوسف شرارة	مختارات من المسرح العالمى	الزلازل
مشكلات القرن الحادى والعشرين	وزالند وجاك يانصر	م. و. ترنج
والعلاقات الدولية	الطفل المصرى القديم	خسмир المهندس
رولاند جاكسون	نيكولاس ماير	ر. جرنم
الكيمياء فى خدمة الانسان	شركوك هولز	الحيتيون
ت. ج. جيمر	ميجيل دى لييسر	سنيو موسكاتو
الحماة ايام الفراغة	الفران	الحفارات الساميه
جرج كاشمان	جوسيبى دى لونا	البرت هورنى
لماذا تنشب الحروب ٢	موسوليني	تاريخ الشعوب العربية
حسام الدين زكريا	الوير جرايتر	حمود قاسم
انطون بروكنر	موتسارت	الادب العربى المكتوب بالفرسية
ازراف فوجل	على عبد الرؤوف البمر	
المعجزة اليابانية	مع. ت. من الشعر الاسبانى	



مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

1

رقم الايداع بدار الكتب ١٩٩٨/٧٦٦١

ISBN — 977 — 01 — 5690 — 6



تهدف الهيئة المصرية العامة للكتاب من مشروع الألف كتاب الثاني إلى مواصلة مسيرة المشروع الأول بتكوين مكتبة متكاملة للقارئ العربي في شتى جوانب المعرفة عن طريق الترجمة والتأليف. وفي هذا الإطار يبدي المشروع اهتماماً كبيراً بالكتب العلمية والمستقبلية، وقد أصدر حتى الآن ٢٩ كتاباً في هذا المجال، من أهمها:

ب. ديفيز، المفهوم الحديث للزمان والسكان

ادوارد فايجينبام، الجيل الخامس للحاسوب

اسحق عظيموف، العلم وآفاق المستقبل

بول ديفيز، الدقائق الثلاث الأخيرة

(انظر القائمة المفصلة داخل الكتاب)

ويعرض هذا الكتاب إلى صورة العالم في منظور العلم الحديث الذي باتت معه الحقيقة أغرب من أي خيال، فلم يعد الزمن كما ألفناه ولا المكان كما عهدناه، وانهارت الحواجز الوهمية بين المتناقضات، وانهارت معها صورة المادة التقليدية التي لا تقنى ولا تستحدث. ويحاول هذا الكتاب أن يخلص الفكر الإنساني من البديهيات والمسلمات الساذجة ويؤقلمه على النظر للعالم بعين جديدة حتى يكون مؤهلاً للتعامل مع المستقبل وما يتمخض عنه من مفاجآت.